

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: «Дослідження методів діагностики та очищення магістральних
газопроводів з використанням очисних поршнів»

Виконав: студент 4 курсу групи НІТ2022-1

Данило КУЦ

Керівник: к.т.н., доц. Наталія КАПЦОВА

Рецензент: д.т.н., проф. Борис Ільченко

м. Харків – 2026 р.

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

Інститут, факультет 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
«16» червня 2026 р..

З А В Д А Н Н Я

на кваліфікаційну роботу бакалавра
студента Куц Данили Віталійовича

1. Тема роботи: «Дослідження методів діагностики та очищення магістральних газопроводів з використанням очисних поршнів».
затвержені наказом по університету від «22» травня 2026 р. № 440-03.
2. Термін подання студентом закінченої роботи 17.06.2026 р.
Вихідні дані до роботи: процес очищення внутрішньої порожнини магістральних газопроводів перед проведенням внутрішньотрубною діагностики., сучасні методи та технічні засоби очищення газопроводів, конструкції очисних поршнів, газодинамічні, пінні та гелеві технології очищення., статистичні дані щодо проведення внутрішньотрубною діагностики газопроводів України, нормативно-технічна документація з експлуатації магістральних газопроводів;
3. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік підлягаючих розробці питань):
4. Оцінювання технічного стану магістральних газопроводів, Характеристика та обґрунтування вибору очисних пристроїв для очищення внутрішньої поверхні трубопроводів, Газодинамічні пристрої для очищення внутрішньої поверхні свердловинних шлейфів, Очищення трубопроводів від вуглеводневого конденсату, води і дрібнодисперсних механічних домішок за допомогою низьократних і високokratних пін, Очищення внутрішньої порожнини газопроводів від рідини з застосуванням гелеподібних поршнів, Охорона праці і безпека в надзвичайних ситуаціях.
5. Перелік графічного матеріалу (с точним визначенням обов'язкових креслень):
 - 5.1 Актуальність теми
 - 5.2 Оцінювання технічного стану магістральних газопроводів
 - 5.3 Інжекційний очисний поршень з направляючими опорними роликками
 - 5.4 Різновідності типів очисних поршнів
 - 5.5 Практичний досвід очищення газопроводів
 - 5.6 Практичний досвід очищення газопроводів

5.7 Характеристика очисних пристроїв для очищення внутрішньої поверхні трубопроводів

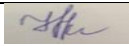
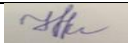
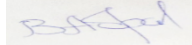
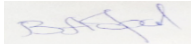
5.8 Газодинамічні пристрої для очищення внутрішньої поверхні свердловинних шлейфів

5.9 Очищення трубопроводів за допомогою низькократних і високократних пін

5.10 Очищення внутрішньої порожнини газопроводів від рідини з застосуванням гелеподібних поршнів

5.11 Охорона праці

6. 6. Консультанти розділів роботи


Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
Технологічна частина	доц. Капцова Н. І.		
Охорона праці	доц. Абракітов В.Е.		

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

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ п/п	Найменування етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	Одержання завдання на проектування	23.05.2026	
2.	Аналіз проектних матеріалів і вихідних даних	24.05.2026	
3.	Огляд і аналіз науково-технічної літератури за тематикою роботи	28.05.2026	
4.	Оцінювання технічного стану МГ	01.06.2026	
5.	Пристрої для очищення внутрішньої поверхні нафтопроводів і газопроводів	05.06.2026	
6.	Газодинамічні пристрої для очищення внутрішньої поверхні свердловинних шлейфів	07.06.2026	
7.	Очищення трубопроводів за допомогою низькократних і високократних пін	08.06.2026	
8.	Гелеві поршні	09.06.2026	
9.	Виробничий шум на виробництві	11.06.2026	
10.	Небезпека експлуатації електрообладнання	12.06.2026	
11.	Екологічні вимоги	14.06.2026	
12.	Виконання графічної частини	02.06-14.06.2026	
13.	Рецензування кваліфікаційної роботи	17.06.2026	
14.	Попередній захист кваліфікаційної роботи	18.06.2026	
15.	Здача закінченої кваліфікаційної роботи в ЕК	23.06.2026	

Керівник _____  (кандидат техн.наук, доцент. Капцова Н.)

Студент- бакалавр _____  (Куц Д.В.)

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота бакалавра складається з пояснювальної записки 64 стор., 20 рис., 1 табл., 20 джерел, 11 слайдів презентації.

Тема роботи обумовлена необхідністю забезпечення надійної та безпечної експлуатації магістральних газопроводів України. На сьогодні одним із найбільш ефективних методів контролю технічного стану магістральних газопроводів є внутрішньотрубна діагностика. Цей метод дозволяє виявляти корозійні пошкодження, втрати металу, вм'ятини, овальності труб та інші дефекти без припинення транспортування природного газу.

Метою дипломного проєкту є аналіз існуючих технологій очищення внутрішньої порожнини магістральних газопроводів та визначення найбільш ефективних технічних рішень для підготовки трубопроводів до проведення внутрішньотрубною діагностики. Проаналізовано етапи підготовки газопроводу до проведення діагностики, особливості використання геометричних та магнітних діагностичних поршнів, а також застосування магнітних маркерів і гіроскопічних систем для точного визначення координат дефектів. Розглянуто механічні, газодинамічні, гідроімпульсні, пінні та гелеві очисні системи. досліджено газодинамічні пристрої для очищення внутрішньої поверхні трубопроводів. Особливу увагу приділено конструкціям із поздовжньо-обертним рухом та використанням надзвукових сопел. Розглянуто очищення газопроводів за допомогою низькократних і високократних пін. Розглянуто сучасні технології використання саморуйнівних в'язкопружних гелів для очищення та осушення трубопроводів. У розділі з охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях проаналізовано основні небезпечні та шкідливі виробничі фактори під час виконання робіт з очищення газопроводів.

ОЧИСНІ ПОРШНІ, В'ЯЗКОПРУЖНІ ГЕЛІ, ГАЗОДИНАМІЧНІ ПРИСТРОЇ

ЗМІСТ

Вступ.....	7
1.Оцінювання технічного стану магістральних газопроводів.....	8
Висновок до розділу 1.....	16
2 Характеристика та обґрунтування вибору очисних пристроїв для очищення внутрішньої поверхні трубопроводів.....	17
2.1 Пристрої для очищення внутрішньої поверхні нафтопроводів	28
Висновок до розділу 2.....	29
3. Газодинамічні пристрої для очищення внутрішньої поверхні свердловинних шлейфів.....	30
Висновок до розділу 3.....	32
4.Очищення трубопроводів від вуглеводневого конденсату, води і дрібнодисперсних механічних домішок за допомогою низькократних і високократних пін.....	33
4.1 Очищення трубопроводів за допомогою низькократних пін.....	33
4.2 Очищення трубопроводів за допомогою високократних пін.....	34
4.3 Очищення внутрішньої порожнини газопроводів від рідини шляхом створення імпульсного режиму руху робочого потоку газу перекриттям лінійного крану працюючого газопроводу.....	36
Висновок до розділу 4.....	36
5.Очищення внутрішньої порожнини газопроводів від рідини з застосуванням гелеподібних поршнів.....	37
5.1 Використання гелів під час послідовного перекачування продуктів трубопроводом.....	37

5.2 Використання гелевих поршнів для винесення механічних домішок і води.....	39
5.3 Використання гелій осушувачів.....	40
5.4 В'язкопружний гелевий очисний поршень.....	41
Висновок до розділу 5.....	46
6. Охорона праці і безпека в надзвичайних ситуаціях.....	48
6.1 Вплив виробничого шуму на працівників.....	48
6.2 Недостатня освітленість як шкідливий виробничий фактор.....	50
6.3 Підвищена концентрація пилу і газів у виробничому середовищі.....	53
6.4 Ризики, пов'язані з експлуатацією рухомих машин і механізмів.....	54
6.5 Небезпека експлуатації електрообладнання	54
6.6 Екологічні вимоги при експлуатації газотранспортних об'єктів.....	55
6.7 Управління ризиками надзвичайних ситуацій.....	58
Висновок до розділу 6.....	60
Висновок.....	61
Перелік посилань на джерела.....	63

ВСТУП

Газотранспортні системи більшості країн світу експлуатуються вже тривалий час, тому питання оцінювання їхнього технічного стану та визначення залишкового ресурсу є надзвичайно важливими для операторів, які забезпечують транспортування вуглеводнів.

Для підтримання газотранспортної системи у справному технічному стані та запобігання аварійним ситуаціям відповідно до чинних нормативних вимог в Україні необхідно здійснювати регулярний контроль технічного стану газопроводів із застосуванням сучасних приладів і технічних засобів.

Сьогодні активно впроваджуються та використовуються різноманітні методи діагностування стану стінок трубопроводів, ізоляційних покриттів і систем електрохімічного захисту. Серед них особливе місце посідає внутрішньотрубна діагностика магістральних газопроводів, яка вважається одним із найефективніших та найінформативніших способів оцінювання технічного стану лінійної частини газотранспортної системи.

Внутрішньотрубна діагностика дає змогу своєчасно виявляти широкий спектр дефектів металу труб різного походження. До них належать виробничі дефекти, зокрема розшарування металу та сторонні включення; дефекти, що виникають під час будівництва — вм'ятини, гофровані деформації, заломки та механічні пошкодження; порушення у зварних з'єднаннях, такі як непровари, пористість і зміщення кромки; а також експлуатаційні пошкодження — корозійні ураження, тріщини та дефекти ізоляційного покриття.

Своєчасне виявлення та усунення зазначених пошкоджень дозволяє значно знизити ризик виникнення аварійних ситуацій на магістральних газопроводах, підвищити надійність їх функціонування, забезпечити стабільне газопостачання внутрішнім споживачам України та безперебійне транспортування природного газу до європейських країн.

1. ОЦІНЮВАННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ МАГІСТРАЛЬНИХ ГАЗОПРОВОДІВ

Згідно з [1] в Україні роботи з внутрішньотрубною діагностикою лінійної частини магістральних газопроводів розпочалися у 1996 році. На сьогодні за допомогою сучасних засобів внутрішньотрубною діагностикою обстежено близько 26 тис. км магістральних газопроводів в одноступеневому обчисленні. Діагностичні дослідження проводилися із застосуванням різних методів внутрішньотрубного контролю, а також повторно відповідно до вимог чинної нормативної документації (рис. 1) [2].

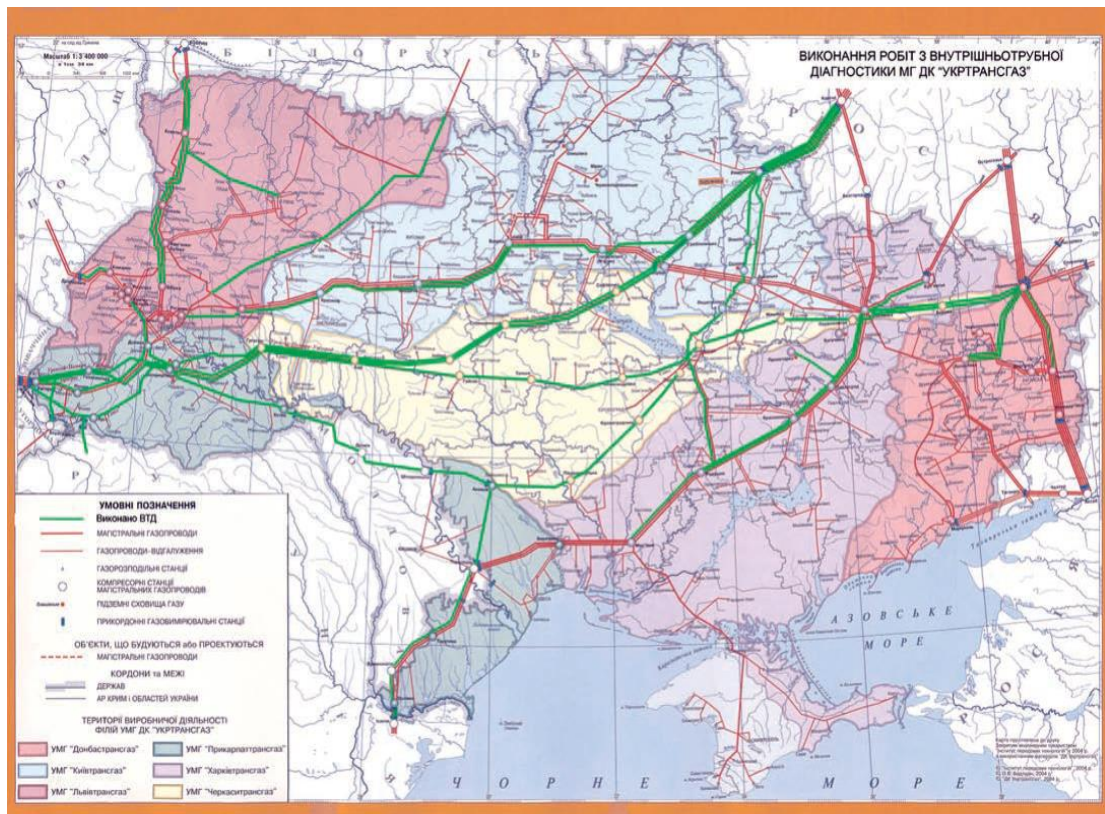


Рисунок 1.1 Динаміка проведення внутрішньотрубною діагностикою магістральних газопроводів ДК «Укртрансгаз» у 1996–2020 рр.

Проведення внутрішньотрубною діагностикою лінійної частини магістральних газопроводів потребує комплексного підходу та ретельної організації технічних і управлінських заходів. У межах газотранспортної

системи щорічно формуються та погоджуються з відповідними службами перспективні й поточні плани виконання робіт з ВТД.

Під час планування враховуються обсяги реконструкції газопроводів для забезпечення пропуску очисних і діагностичних поршнів, встановлена періодичність повторних обстежень, необхідність координації з операторами суміжних держав для діагностики прикордонних ділянок, а також можливість проведення позапланових перевірок після виникнення аварійних ситуацій.

Після завершення організаційної підготовки складається графік запуску очисних та діагностичних поршнів. Його формування залежить від графіка планово-попереджувальних ремонтів лінійної частини магістральних газопроводів і погодження режимів роботи з диспетчерськими службами, оскільки для якісного виконання діагностики необхідно забезпечити відповідні швидкісні параметри потоку газу.

Крім того, враховуються строки доставки та митного оформлення спеціалізованого обладнання, послідовність обстеження окремих ділянок, логістика транспортування, а також час, необхідний для укладання договорів і координації дій із газотранспортними підприємствами сусідніх країн.

Підготовка ділянок магістрального газопроводу до проведення внутрішньотрубної діагностики передбачає виконання комплексу організаційно-технічних заходів. Відповідно до нормативних вимог, внутрішня порожнина трубопроводу має бути повністю очищена від залишків електродів, бруду, рідини та інших сторонніх предметів, оскільки їх наявність може призвести до пошкодження сенсорних елементів діагностичного поршня та спотворення результатів діагностування.

Для забезпечення належного технічного стану внутрішньої поверхні трубопроводу в системі газотранспорту застосовуються різні типи очисних поршнів, які дозволяють ефективно видаляти забруднення та створювати необхідні умови для подальшого пропуску діагностичного обладнання.

Очищення газопроводу є обов'язковим підготовчим етапом внутрішньотрубної діагностики, оскільки саме від якості його виконання

залежить достовірність отриманих даних та точність виявлення дефектів металу труби, зварних з'єднань і стану ізоляційного покриття.



а – з калібрувальною пластиною



б – з магнітами



В – з щітками

Рисунок 1.2 Різновідності типів очисних поршнів

Для очищення так званих «сухих» ділянок магістральних газопроводів, у яких спостерігається накопичення абразивних частинок піску, застосовують інжекційні очисні поршні, оснащені напрямними опорними роликми. Така конструкція дозволяє значно знизити зношування поліуретанових манжет і забезпечує більш ефективне очищення внутрішньої поверхні трубопроводу.

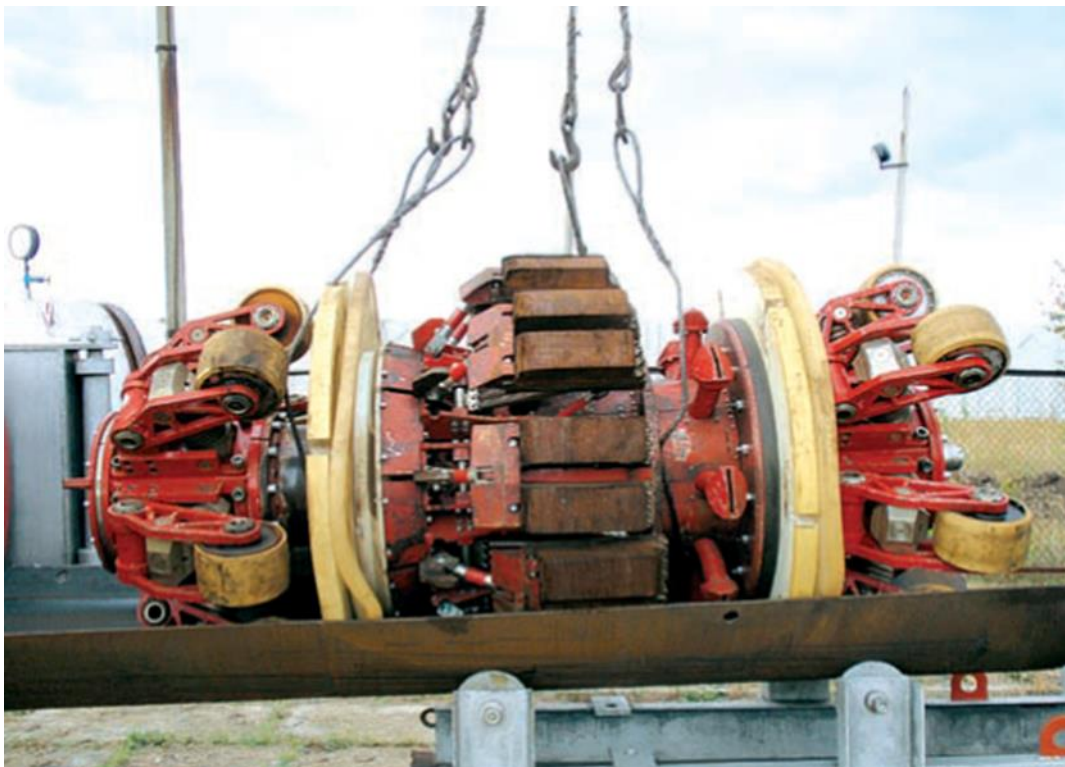


Рисунок 1.3. Інжекційний очисний поршень з направляючими опорними роликками

Варто зазначити, що природний газ, який надходить до газотранспортної системи України з вітчизняних видобувних підприємств, не завжди повністю відповідає вимогам ГОСТ 5542-87 за показниками якості, що може спричиняти додаткове забруднення окремих ділянок магістральних газопроводів.

Найбільші обсяги такого газу транспортуються через Київську, Харківську, Черкаську та Львівську системи магістральних газопроводів. Практичний досвід показує, що для належної підготовки цих ділянок до проведення внутрішньотрубної діагностики необхідно здійснювати багаторазове послідовне пропускання очисних поршнів по одній і тій самій ділянці газопроводу, що дозволяє досягти необхідного рівня очищення для подальшого використання діагностичних засобів.





Рисунок 1.4 Очищення ділянок магістрального газопроводу.

Завершальним етапом підготовки ділянки магістрального газопроводу до проведення внутрішньотрубної діагностики є пропускання очисного поршня, оснащеного калібрувальним диском. За результатами аналізу ступеня його деформації приймається остаточне рішення щодо готовності трубопроводу до пропуску діагностичних поршнів.

Наступним етапом проведення робіт є контроль геометричного стану газопроводу із застосуванням електронного геометричного поршня. Таке обстеження дозволяє виявити овальність труб, вм'ятини, гофри та інші виступаючі елементи арматури, які можуть становити небезпеку для подальшого пропускання магнітного діагностичного поршня.

Для кожного виявленого дефекту визначаються його основні параметри — довжина, ширина та глибина. Одночасно здійснюється реєстрація швидкості руху поршня, прискорень і температурних показників, що дає можливість контролювати умови проведення діагностики перед виконанням обстеження на наявність втрат металу.

Застосування геометричного діагностування дозволяє значно знизити ризик аварійного або некоректного пропускання магнітного діагностичного

поршня та підвищує достовірність результатів внутрішньотрубної діагностики.

Обстеження лінійної частини магістральних газопроводів з метою виявлення корозійних пошкоджень і втрат металу здійснюється за допомогою магнітних діагностичних поршнів. Принцип їх роботи ґрунтується на методі втрати магнітного потоку, який базується на використанні ефекту Холла.

Під час впливу магнітів на стінку трубопроводу в металі утворюється магнітне поле. У разі проходження діагностичного поршня через ділянку, де товщина стінки труби зменшена порівняно з номінальною, виникає витік магнітного потоку. Отримані сигнали фіксуються та зберігаються в пам'яті поршня, що дозволяє під час подальшої обробки результатів визначати наявність дефектів, їх місце розташування та рівень небезпеки, пов'язаний із втратою металу.

Сенсори, розташовані по периметру поршня, забезпечують повне охоплення внутрішньої поверхні трубопроводу та реєструють зміни магнітного поля під час руху пристрою. Оцінювання ступеня небезпеки дефектів здійснюється шляхом аналізу відхилень від моделі рівномірного магнітного поля.

Для проведення діагностики застосовують високоточні магнітні поршні, здатні виявляти втрати металу як на внутрішній, так і на зовнішній поверхнях стінки труби.

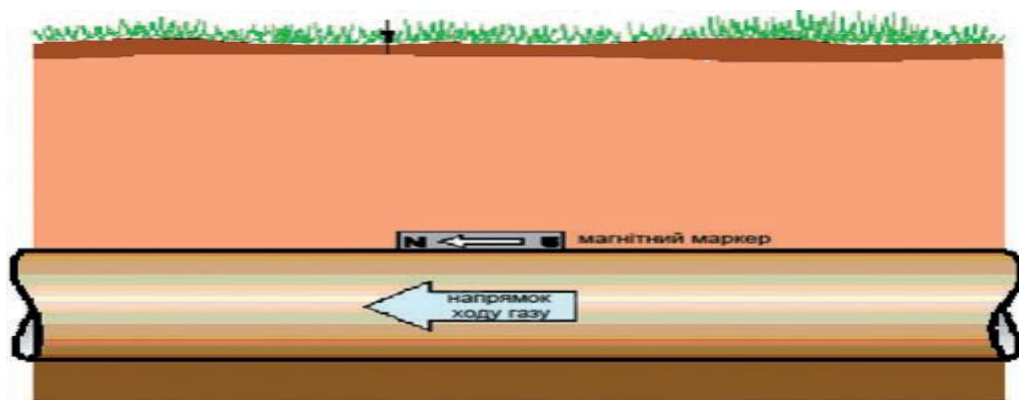


Рисунок 1.5 Схема розміщення магнітних маркерів на магістральному трубопроводі.

Перед виконанням пропускання діагностичного поршня безпосередньо на трубопроводі монтують магнітні маркери з кроком близько 2 км. Додатково їх встановлюють у місцях поворотів траси та на ділянках перетину однієї нитки трубопроводу з іншими, якщо вони розташовані в межах спільного технологічного коридору.

Схему розміщення магнітних маркерів на магістральному трубопроводі наведено на рис. 1.5. Під час обробки результатів внутрішньотрубної діагностики сигнали від маркерів легко розпізнаються та використовуються як орієнтири при складанні звітної документації і визначенні місць розташування виявлених дефектів.

Магнітні маркери характеризуються необмеженим строком експлуатації, монтуються без демонтажу наявного ізоляційного покриття магістрального газопроводу та можуть повторно застосовуватись під час наступних обстежень.

Працівники лінійних служб формують карту розміщення магнітних маркерів із зазначенням їх GPS-координат та передають отримані дані відповідальному виконавцю робіт з внутрішньотрубної діагностики.

Варто зазначити, що до складу магнітного та геометричного діагностичного поршня може бути інтегрований вимірювальний модуль на основі лазерної гіроскопії, призначений для XYZ-картографування газопроводу. Під час проходження поршня, оснащеного гіроскопічним блоком, здійснюється визначення фактичного положення трубопроводу відносно трьох координатних осей, що дозволяє отримати точну схему траси та профіль газопроводу.

Гіроскопічний інерційний модуль у процесі руху реєструє зміни кутової та лінійної швидкостей за осями X, Y, Z і забезпечує високоточне позиціонування трубопроводу із використанням магнітних маркерів, координати яких попередньо визначені.

Дослідження просторового положення газопроводу дає можливість визначати координати кільцевих зварних швів, радіуси поворотів, відхилення

осі трубопроводу від проєктного положення, а також зміни його геометрії протягом експлуатації. Отримані дані є важливими для оцінювання напружено-деформованого стану ділянки газопроводу та прогнозування залишкового ресурсу його роботи.

Висновок до розділу 1

У першому розділі було розглянуто основні методи та засоби оцінювання технічного стану магістральних газопроводів із застосуванням сучасних технологій внутрішньотрубної діагностики. Проаналізовано особливості організації та проведення діагностичних робіт, починаючи від етапу підготовки трубопроводу до виконання комплексного контролю його технічного стану.

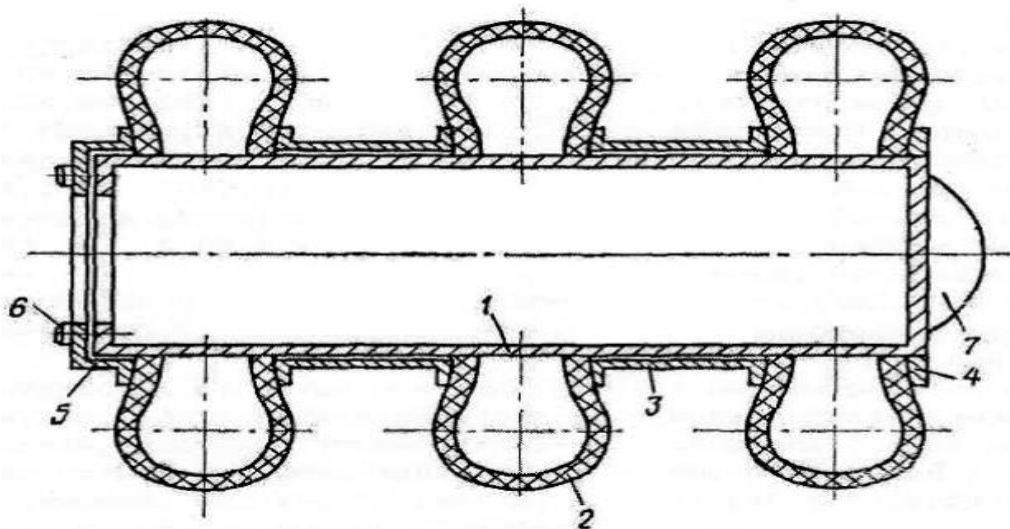
Встановлено, що ефективність внутрішньотрубної діагностики значною мірою залежить від якості очищення внутрішньої поверхні трубопроводу, правильного вибору очисних та діагностичних поршнів, а також дотримання необхідних режимів транспортування газу. Використання сучасних очисних пристроїв дозволяє забезпечити належний рівень підготовки трубопроводу до проведення діагностичних обстежень.

Розглянуті методи геометричного та магнітного контролю забезпечують можливість своєчасного виявлення дефектів трубопроводу, зокрема овальностей, вм'ятин, корозійних пошкоджень і втрат металу. Застосування магнітних маркерів та гіроскопічних вимірювальних систем значно підвищує точність локалізації дефектів і дозволяє виконувати просторове картографування траси газопроводу.

2. ХАРАКТЕРИСТИКА ТА ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ ОЧИСНИХ ПРИСТРОЇВ ДЛЯ ОЧИЩЕННЯ ВНУТРІШНЬОЇ ПОВЕРХНІ ТРУБОПРОВОДІВ

Важливим чинником підвищення гідравлічної ефективності трубопровідного транспорту є регулярне очищення трубопроводів із застосуванням механічних очисних пристроїв. Процес очищення газопроводів за допомогою очисних поршнів характеризується значною технологічною складністю.

Для підвищення ефективності очищення трубопроводів у пристрої, наведеному на рис.2.1, передбачено механізм регулювання сили притискання очисних елементів до внутрішньої поверхні труби.



1- корпус, 2- кільцеві очисні елементи, 3- розпірні втулки, 4- нерухома опорна шайба, 5- рухома опорна шайба, 6- болтове з'єднання

Рисунок 2.1 – Пристрій для очищення внутрішньої поверхні трубопроводів повздовжнього руху з регулюючими очисними елементами

Пристрій складається з порожнистого корпусу 1, на якому вільно встановлені кільцеві очисні елементи 2 та розміщені між ними розпірні втулки 3. На одному кінці корпусу закріплена нерухома опорна шайба 4, а на іншому

— рухома опорна шайба 5, переміщення якої здійснюється вздовж корпусу 1 за допомогою болтового з'єднання 6. Передня частина корпусу обладнана амортизувальним обтікачем 7.

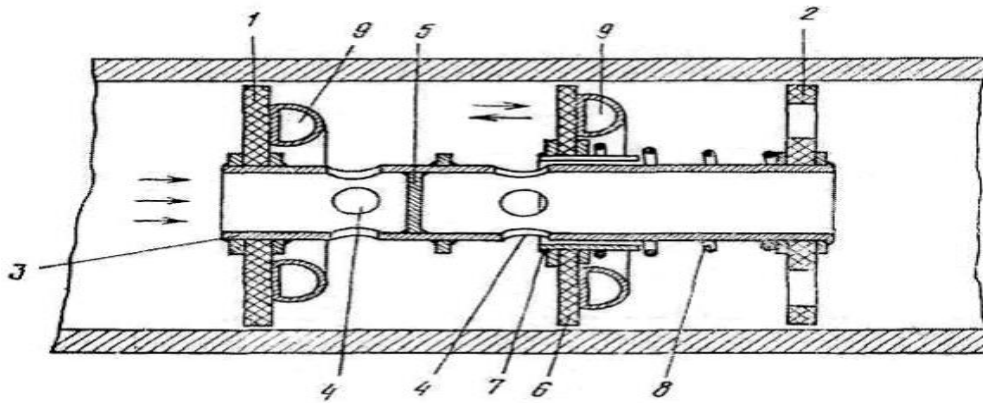
Монтаж пристрою та налаштування сили притискання очисних елементів 2 до внутрішньої поверхні трубопроводу виконуються шляхом встановлення на корпус очисних елементів 2 і розпірних втулок 3 з подальшим їх осьовим стисканням рухомою опорною шайбою 5 за допомогою болтового з'єднання 6. У результаті осьового стискання відбувається збільшення зовнішнього діаметра очисних елементів 2, що забезпечує щільний контакт зі стінкою трубопроводу. Одночасно досягається необхідна герметичність у місцях з'єднання очисних елементів 2 з розпірними втулками 3 та опорними шайбами 4 і 5.

Після повного складання пристрій встановлюють у трубопровід, де його переміщення здійснюється під дією тиску рідини або газу.

Залежно від типу та ступеня забруднення внутрішньої поверхні трубопроводу пристрій може комплектуватись двома, трьома або більшою кількістю очисних елементів із гладкою чи рифленою поверхнею.

Зношені очисні елементи легко демонтуються безпосередньо в польових умовах та замінюються новими. При цьому корпус 1, розпірні втулки 3 і рухома опорна шайба 5 з болтовим з'єднанням 6 можуть використовуватись повторно, що підвищує економічну ефективність експлуатації пристрою [4].

З метою підвищення ефективності очищення внутрішньої поверхні трубопроводів було розроблено пристрій, зображений на рис.2.2. Підвищення ефективності очищення досягається завдяки застосуванню гідроімпульсного способу руйнування забруднень на стінках трубопроводу.



1, 2- нерухомі манжети, 3- корпус, 4- перепускні отвори, 5- заглушка, 6- рухома манжета, 7- рухомий елемент, 8- пружина, 9- еластичні газонаповнені оболонки

Рисунок 2.2 – Пристрій для очищення внутрішньої поверхні трубопроводів гідроімпульсного руйнування забруднень

Пристрій складається з нерухомих манжет 1 і 2, закріплених на трубчастому корпусі 3, який оснащений перепускними отворами 4. Також конструкція містить заглушку 5 та рухома манжету 6, встановлену на рухомому елементі 7, що підтискається пружиною 8. На манжетах 1 і 6 розміщені еластичні газонаповнені оболонки 9.

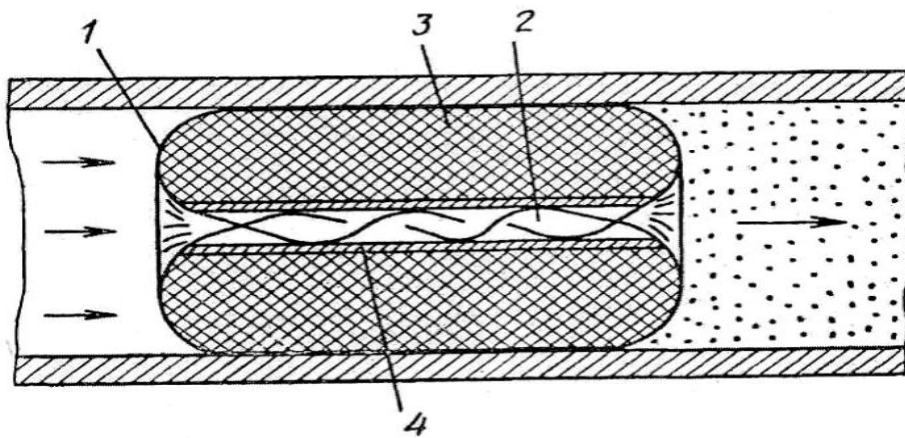
Пристрій для очищення внутрішньої поверхні трубопроводів працює таким чином. Під дією потоку робочого середовища він переміщується вздовж трубопроводу. Під час проходження забрудненої ділянки виникає перепад тиску, внаслідок чого частина робочого середовища проходить через отвори 4. При цьому манжета 6 здійснює коливальні рухи вздовж осі трубопроводу, створюючи коливання у робочому середовищі.

Еластичні оболонки 9 сприяють виникненню коливань, під впливом яких забруднення руйнуються, переходять у пухкий стан та видаляються механічним способом за допомогою манжет 1, 2 і 6 [5].

У пристрої, представленому на рис. 2.3 для підвищення ефективності та надійності роботи як очисний елемент використано еластичну тороподібну

оболонку 1, усередині якої розміщений тороподібний вкладиш 3, виготовлений із пружного матеріалу. Осьова частина 2 вкладиша 3 виконана у вигляді гвинтового закручування, що забезпечує його обертання всередині тороподібної оболонки 1.

Під дією тиску газу або рідини пристрій переміщується трубопроводом та одночасно обертається навколо своєї осі, завдяки чому механічні відкладення та шлам відокремлюються від внутрішньої поверхні стінок трубопроводу.



1- еластична тороподібна оболонка, 2- осьова частина вкладиша, 3- вкладиш, 4- жорстка трубка

Рисунок 2.3 – Пристрій для очищення внутрішньої поверхні трубопроводів поздовжньо-обертового руху

Пристрій складається з еластичної тороподібної оболонки 1, усередині якої розташований тороподібний пружний вкладиш 3. В осьовому отворі вкладиша закріплена жорстка трубка 4, діаметр якої перевищує діаметр гвинтоподібно скрученої осьової частини вкладиша 3.

Скручена частина вкладиша виготовляється з еластичної трубки, яку пропускають через отвір жорсткої трубки 4, після чого закручують уздовж осі на заданий кут. Кінці трубки вивертають назовні та закріплюють на тороподібному вкладиші 3. Наявність жорсткої трубки 4 запобігає затисканню

центральної скрученої частини 2 оболонки 1 під час стискання пружного вкладиша.

Вкладиш 3 може виготовлятися з пористої гуми, а жорстка трубка 4 — з металу. Для зменшення сили тертя внутрішню порожнину оболонки 1 допускається заповнювати антифрикційним мастилом [6].

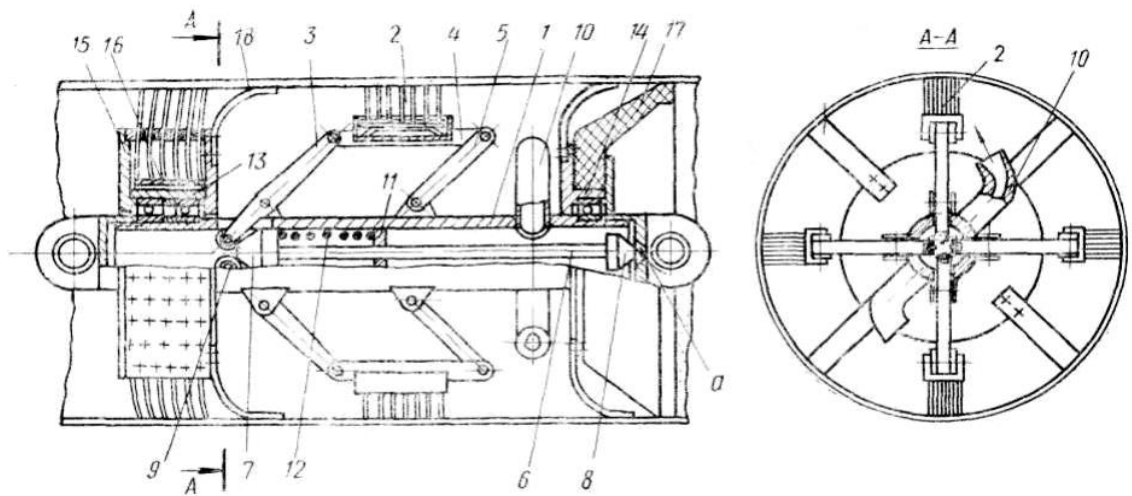
Пристрій, представлений на рис. 2.4, здійснює обертання навколо власної осі завдяки реактивним патрубкам, через які з великою швидкістю виходять струмені робочого середовища, створюючи крутний момент. Особливістю конструкції є автоматичне регулювання сили притискання очисних елементів до внутрішньої поверхні трубопроводу.

Конструкція пристрою включає порожнистий вал 1 з очисними інструментами 2, які закріплені за допомогою важелів 3–5, що утворюють шарнірний паралелограм. Усередині валу розташована підпружинена тяга 6 з конусами 7 і 8, які взаємодіють із роликками 9, закріпленими на важелях. На зовнішній поверхні валу встановлено реактивні патрубки 10, а на торці виконані конічні отвори для подачі робочого середовища.

Усередині валу також розміщена перегородка 11, через яку проходить тяга 6, підтиснута пружиною 12. На кінцях валу встановлені підшипникові опори 13 і 14. На опорі 13 закріплені циліндричні щітки 15, що притискаються пружинним розрізним кільцем 16, а на опорі 14 розташована манжета 17. Центрування пристрою в трубопроводі здійснюється за допомогою ковзаючих опор 18.

Під час очищення трубопроводу пристрій переміщується потоком робочого середовища — рідини або газу. У цей момент тяга 6 з конусами 7 і 8 під дією пружини 12 займає крайнє ліве положення. Робоче середовище, проходячи через реактивні патрубки 10, створює крутний момент, унаслідок чого порожнистий вал 1 разом з очисними інструментами 15 починає обертатися. Під дією відцентрових сил очисні елементи притискаються до внутрішньої поверхні трубопроводу.

У разі перевищення допустимої частоти обертання валу та надмірного збільшення сили притискання важелі 3 повертаються навколо своїх осей. Ролики 9 при цьому переміщують тягу 6, долаючи опір пружини 12, і частково перекривають отвір подачі робочого середовища. Це призводить до зменшення кількості середовища, що надходить до реактивних патрубків 10, а отже — до зниження частоти обертання валу до необхідного значення. Таким чином автоматично підтримується постійне зусилля притискання очисних інструментів 15 до внутрішньої поверхні трубопроводу [8].



- 1- порожнистий вал, 2- очисні інструменти, 3, 5- важелі, 6- тяга, 7, 8- конуси, 9- ролики, 10- реактивні патрубки, 11- перегородка, 12- пружина, 13, 14- підшипникові опори, 15- циліндричні щітки, 16- пружинне розрізне кільце, 17- манжета, 18- ковзаючі опори

Рисунок 2.4 – Пристрій поздовжньо-обертової дії для очищення внутрішньої поверхні трубопроводів із регульованими очисними елементами

На рисеуге 2.5 представлено очисний пристрій, обертання якого навколо власної осі здійснюється за допомогою турбіни. Як очисні елементи застосовано металеві щітки та різці у вигляді гачкоподібних пластин, які послідовно закріплені на валу турбіни.

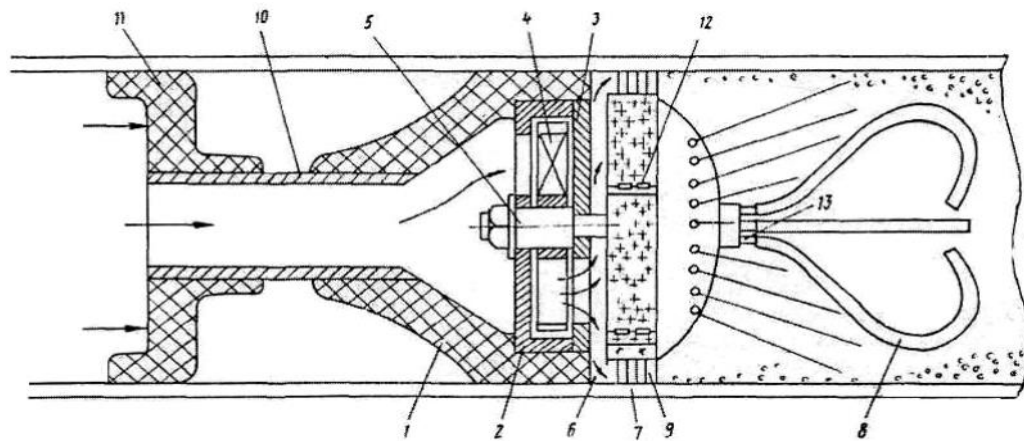
Конструкція пристрою включає головку 1, у якій розміщено корпус 2 з турбіною 4 та кришкою 3. На валу 5 турбіни встановлений диск 6 зі щітками 7

і різцями 8. Щітки 7 кріпляться до диска 6 за допомогою петель 12 та притискаються до внутрішньої поверхні трубопроводу пружиною 9. Головка пристрою 1 з'єднана з хвостовиком 11 через втулку 10.

Головка 1 і хвостовик 11 виготовлені з еластичного матеріалу, що забезпечує щільне прилягання пристрою до стінок трубопроводу під час проходження криволінійних ділянок.

Принцип роботи пристрою полягає в наступному. Завдяки наявності центрального отвору та щільному прилягання хвостовика 11 і головки 1 до внутрішньої поверхні трубопроводу потік робочого середовища забезпечує переміщення пристрою вздовж трубопроводу.

У разі виникнення перешкод у вигляді забруднень потік робочого середовища через центральний отвір у втулці 10 спрямовується на турбіну 4. Під дією потоку турбіна починає обертатися разом з очисними елементами. При цьому різці 8 руйнують і розпушують тверді відкладення, а щітки 7 виконують остаточне очищення внутрішньої поверхні трубопроводу.



1- головка, 2- корпус, 3- кришка, 4- турбінка, 5- вал турбінки, 6- диск, 7- щітки, 8- різці, 9- пружина, 10- втулка, 11- хвостовик, 12- петлі

Рисунок 2.5 – Пристрій поздовжньо-обертової дії для очищення внутрішньої поверхні трубопроводів із металевими щітками та різальними елементами

Легкі та пухкі відкладення видаляються з поверхні трубопроводу потоками робочого середовища, які виходять через отвори в диску 6, після чого виносяться вперед по трубопроводу перед пристроєм.

Завдяки цьому забезпечується безперервне самоочищення очисних елементів від забруднень і підтримання їх у працездатному стані. Додаткове очищення щіток 7 здійснюється частиною робочого середовища, що проходить через кільцевий зазор між диском 6 та внутрішньою поверхнею трубопроводу [9].

Основною особливістю пристрою для очищення внутрішньої поверхні трубопроводу (рис. 2.6) є те, що сопла не лише забезпечують руйнування та змивання шару відкладень, а й створюють обертання пристрою навколо поздовжньої осі. Це підвищує ефективність очищення трубопроводу та знижує ймовірність заклинювання пристрою під час його руху.

Конструкція пристрою включає корпус 1, на якому встановлено очисні 2, центруючі 3 та прокладкові 4 диски, об'єднані у два блоки, розташовані в головній і хвостовій частинах пристрою. Між блоками на кільцевому каналі 9 розміщена ущільнювальна манжета 5. Усі очисні диски 2 мають по периферії наскрізні отвори 6.

У прокладкових дисках 4, розташованих між переднім центруючим диском 3 і першим головним очисним диском 2, а також між хвостовими очисними дисками 2, виконані соплові отвори 7, які продовжені вставними гнучкими патрубками 8. Робоче середовище до кожної групи сопл 7 подається окремо через канали 10 і 11.

Принцип роботи пристрою для очищення внутрішньої поверхні трубопроводу полягає в його переміщенні вздовж трубопроводу під дією потоку робочого середовища. Пристрій встановлюється всередині трубопроводу, після чого очищення відкладень і забруднень здійснюється очисними дисками 2, розташованими в головній та хвостовій частинах конструкції.

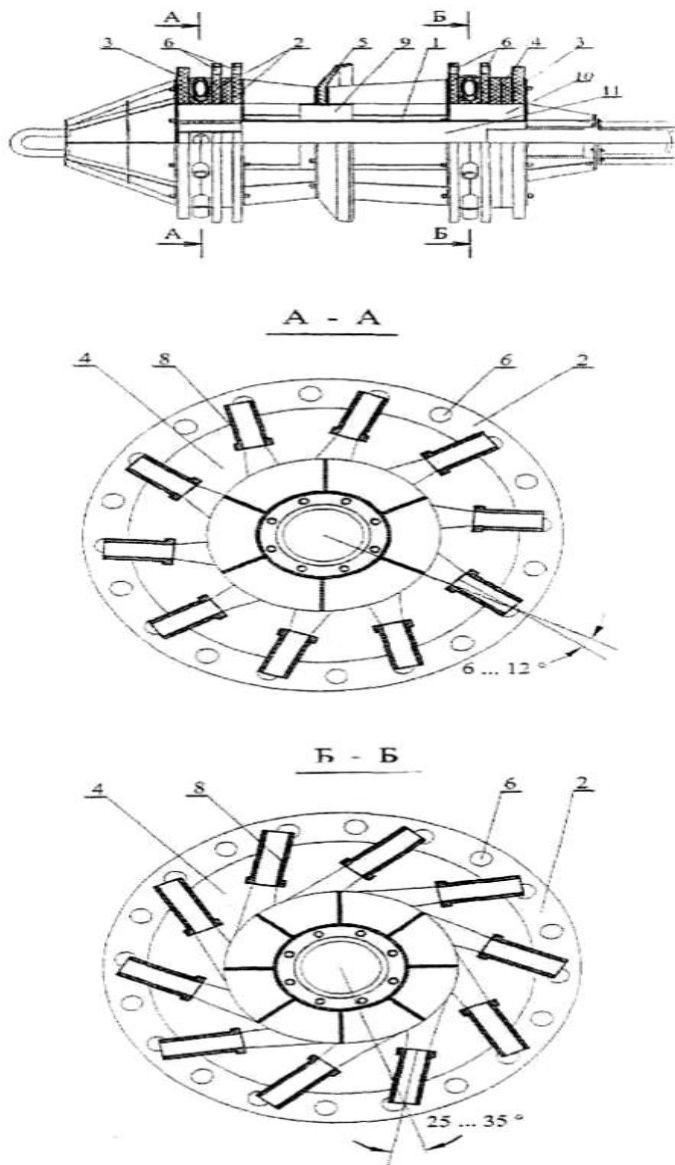
Перед головним блоком очисних дисків тверді відкладення руйнуються та розмиваються струменями робочого середовища, які виходять через головні сопла 7. Аналогічний процес відбувається між очисними дисками у хвостовій частині пристрою. Окрім очищення поверхні, сопла 7 забезпечують обертання пристрою навколо поздовжньої осі, що підвищує ефективність очищення та знижує ризик заклинювання пристрою в трубопроводі.

Отвори 6 і кільцевий канал 9 формують спрямований потік робочого середовища, який видаляє частинки відкладень і забруднень із зони очищення та переносить їх перед пристроєм.

У випадку значної товщини або високої твердості відкладень швидкість руху пристрою зменшується. Це призводить до збільшення перепаду тиску, а відповідно — сили та тривалості дії струменів робочого середовища на забруднену ділянку, що додатково покращує якість очищення та зменшує ймовірність застрягання пристрою.

У разі тимчасового заклинювання або зупинки пристрою головні сопла частково перекриваються шаром знятих відкладень, унаслідок чого перепад тиску спрямовується на хвостові сопла. Це створює більший обертовий момент, який сприяє повертання пристрою та його звільненню.

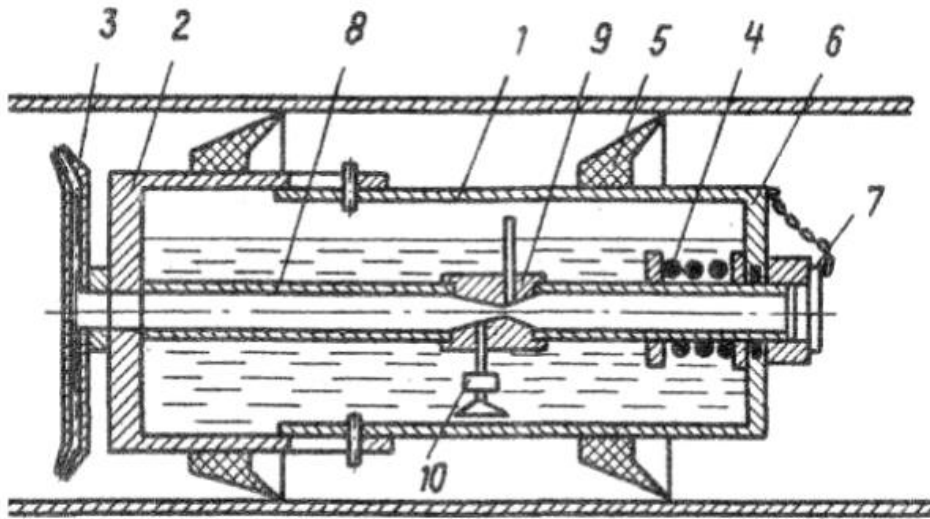
Запропонована конструкція пристрою є найбільш ефективною для очищення внутрішньої поверхні нафтопроводів і конденсатопроводів від парафінових відкладень, забруднень та продуктів корозії трубопроводу [10].



1- корпус, 2- очисні диски, 3- центруючі диски, 4- прокладкові диски, 5- ущільнююча манжета, 6- отвори, 7- соплові отвори, 8- патрубки, 9- кільцевий канал, 10, 11- канали

Рисунок 2.6 – Пристрій для очищення внутрішньої поверхні трубопроводів поздовжньо-обертового руху за рахунок кінетичної енергії струменів.

Для підвищення ефективності очищення трубопроводів від рідинних скупчень та збільшення терміну служби очисного пристрою шляхом усунення перетікань рідини через нещільності манжет було розроблено пристрій, зображений на рис. 2.7 Його особливістю є створення перед рухомим пристроєм буферної зони, заповненої піною.



1- корпус, 2- насадок, 3- диск, 4- пружина, 5- манжети, 6- задня стінка корпусу, 7- корок

8- труба, 9- ежектор, 10- патрубок

Рисунок 2.7 – Пристрій поздовжнього руху для очищення внутрішньої поверхні трубопроводу від рідинних скупчень із пінним ущільненням манжет.

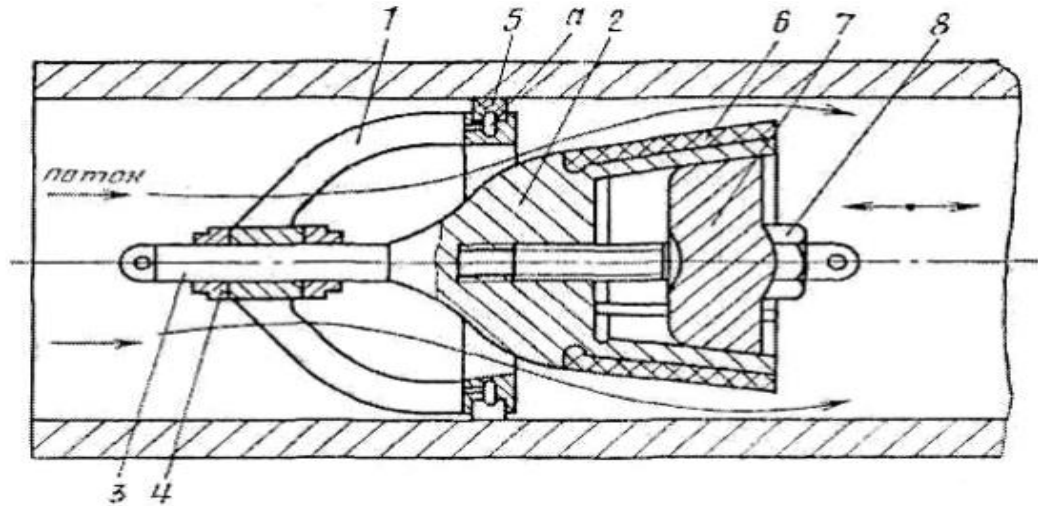
Принцип роботи пристрою полягає в наступному. Під час руху трубопроводом і контакту з рідинним скупченням насадок 2 сповільнюється, а задня частина труби 8 вибиває корок 7, відкриваючи доступ газу з трубопроводу до ежектора 9. У результаті змішування газового струменя з розчином поверхнево-активних речовин (ПАР), який через патрубок 10 надходить із порожнини корпусу 1 до ежектора 9, утворюється піна.

Для запобігання перетіканню рідини через нещільності манжет при зустрічі пристрою з першою пробкою рідинних скупчень перед початком руху в трубопровід може додатково вводиться певний об'єм розчину ПАР, при цьому корок 7 не встановлюється.

Піна, що переміщується перед пристроєм, перешкоджає проникненню рідини через нещільності манжет та знижує динамічні навантаження на конструкцію, що сприяє підвищенню довговічності та надійності роботи пристрою [12].

2.1 Пристрої для очищення внутрішньої поверхні нафтопроводів

На рис. 2.8 представлено пристрій для очищення внутрішньої поверхні нафтопроводів від різних видів забруднень із використанням кавітаційного ефекту.



1- збудник кавітації, 2- обтікач, 3- вісь, 4- гайка. 5- пружне ущільнення, 6- гумове кільце, 7- конус, 8- регулююча гайка

Рисунок 2.8 – Пристрій поздовжнього руху для очищення внутрішньої поверхні трубопроводів із використанням кавітаційного ефекту.

Принцип роботи пристрою полягає в тому, що рідина під тиском проходить через збудник кавітації 1, а далі — через кільцевий зазор між збудником кавітації 1 та обтікачем 2. Унаслідок звуження цього зазору до критичного розміру в потоці рідини виникає процес пароутворення, що створює кавітаційне поле. Під дією кавітації відбувається руйнування твердих забруднень на внутрішній поверхні трубопроводу.

Довжина кавітаційної зони та інтенсивність очищення регулюються зміною положення розпірного конуса 7 за допомогою регулювальної гайки 8. Це забезпечує зміну форми обтікача 2, а відповідно — збільшення або зменшення зазору між внутрішньою поверхнею трубопроводу та гумовим кільцем 6.

Герметичне прилягання збудника кавітації 1 до стінки трубопроводу забезпечується пружним ущільненням 5. Додаткове розширення ущільнення

відбувається під дією тиску рідини, що подається через спеціальні отвори та канали.

Переміщення пристрою всередині трубопроводу здійснюється за допомогою троса, закріпленого на обтікачі 2. Збудник кавітації 1 та обтікач 2 встановлені на спільній осі 3 і з'єднані між собою з можливістю осьового переміщення, яке регулюється гайками 4. Збудник кавітації має чашоподібну форму та оснащений пружним ущільненням 5, з'єднаним каналами з потоком рідини [13].

Висновок до розділу 2

У другому розділі було розглянуто основні типи очисних пристроїв, що застосовуються для очищення внутрішньої порожнини трубопроводів, а також проаналізовано особливості їх конструкцій та принципів роботи. Проведений аналіз показав, що ефективність очищення значною мірою залежить від умов експлуатації трубопроводу, характеру забруднень, діаметра труб та режимів транспортування робочого середовища.

Досліджено механічні, газодинамічні, гідроімпульсні, кавітаційні, пінні та гелеві очисні пристрої. Встановлено, що кожен із розглянутих типів має свої переваги та обмеження щодо ефективності очищення, складності конструкції, надійності роботи та можливості застосування на трубопроводах різного призначення.

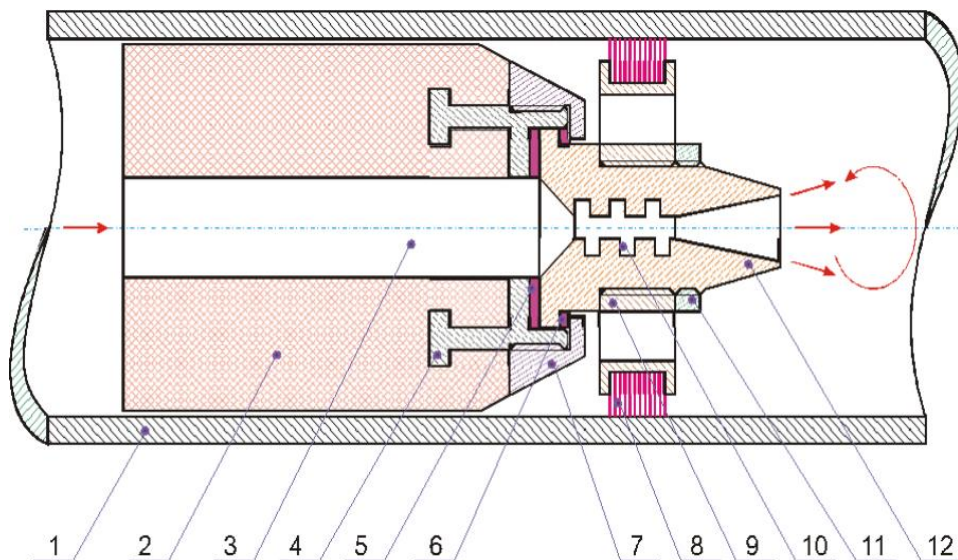
Особливу увагу приділено сучасним очисним пристроям позовжньо-обертового руху, які забезпечують підвищення якості очищення за рахунок додаткового обертання робочих елементів, а також використанню пінних і гелевих технологій, що дозволяють ефективно видаляти рідинні скупчення та механічні відкладення без значного ризику пошкодження трубопроводу.

Аналіз встановив, що перспективним напрямком розвитку технологій очищення є використання комбінованих очисних систем, які поєднують механічний, гідродинамічний та фізико-хімічний вплив на забруднення. Це дозволяє підвищити ефективність очищення внутрішньої поверхні трубопроводів, зменшити ймовірність застрягання очисних пристроїв.

3. ГАЗОДИНАМІЧНІ ПРИСТРОЇ ДЛЯ ОЧИЩЕННЯ ВНУТРІШНЬОЇ ПОВЕРХНІ СВЕРДЛОВИННИХ ШЛЕЙФІВ

Газодинамічний пристрій для очищення внутрішньої поверхні свердловинних шлейфів представлений на рис.3.1. Використання в конструкції крутного надзвукового сопла та металевої щітки забезпечує високу ефективність очищення трубопроводу завдяки дії кінетичної енергії газового струменя, який виходить із сопла перед пристроєм, а також за рахунок обертання металевої щітки зі значним крутним моментом.

Конструкція пристрою включає циліндричний гумовий корпус 2 із центральним прохідним отвором 3. У корпусі закріплено вузол кріплення 4, в якому між прокладками 5 і 6 встановлене надзвукове сопло 12, виконане у формі трубки Вентурі. Сопло 12 фіксується гайкою 7 з можливістю вільного обертання навколо центральної осі пристрою. На внутрішній поверхні сопла виконано гвинтовий канал 10, а на зовнішній поверхні закріплено диск 9 з металевою циліндричною щіткою 8, який фіксується контргайкою 11.



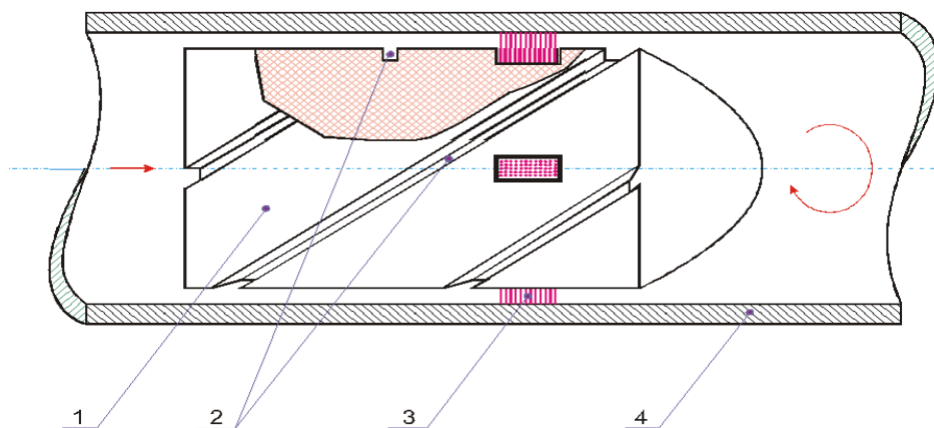
- 1- трубопровід, 2- корпус, 3- центральний прохідний отвір, 4- кріплення,
5, 6- прокладки, 7- гайка,
8- щітка, 9- диск, 10- гвинтовий канал, 11- контргайка, 12- сопло

Рисунок 3.1– Газодинамічний пристрій поздовжньо-обертової дії для очищення внутрішньої поверхні трубопроводів.

Принцип роботи пристрою полягає в наступному. Його встановлюють у свердловинний шлейф 1, що потребує очищення, після чого в трубопровід під тиском подається газ. Під впливом газового потоку пристрій переміщується вздовж трубопроводу. Частина потоку проходить через центральний отвір 3 корпусу 2 і надходить у надзвукове сопло 12, де формується струмінь газу з надзвуковою швидкістю.

Завдяки наявності гвинтових каналів 10 на внутрішній поверхні сопла виникає крутний момент, який забезпечує його обертання навколо центральної осі пристрою. Разом із соплом обертається диск 9 з металевою циліндричною щіткою 8, що забезпечує ефективне очищення внутрішньої поверхні трубопроводу [11].

На рис. 3.2 представлено спрощену конструкцію очисного пристрою, який під час руху обертається навколо власної осі. Така конструкція забезпечує ефективне очищення внутрішньої поверхні трубопроводів малого діаметра, водночас відзначаючись простотою будови та зручністю в експлуатації.



1- корпус, 2- прямокутні гвинтові канали, 3- щітки, 4- трубопровід

Рисунок 3.2 – Пристрій поздовжньо-обертової дії для очищення внутрішньої поверхні трубопроводів із металевими щітками.

Пристрій складається з циліндричного гумового корпусу 1, на зовнішній поверхні якого виконані прямокутні гвинтові канали 2. Передня частина корпусу оснащена чотирма металевими щітками 3. Потік робочого середовища, рухаючись із великою швидкістю через гвинтові канали 2, створює крутний момент, завдяки якому корпус 1 разом зі щітками 3 обертається навколо своєї осі.

Використання гумового корпусу забезпечує можливість вільного проходження пристрою через повороти та вигини трубопроводу.

Принцип роботи пристрою полягає в наступному. Його встановлюють у шлейф свердловини 4, який потребує очищення, після чого в трубопровід під тиском подається робоче середовище — газ або рідина. Під дією потоку пристрій переміщується вздовж трубопроводу. Частина потоку проходить через гвинтові канали 2 з високою швидкістю, утворюючи крутний момент, що забезпечує обертання корпусу 1 разом із металевими щітками 3.

Очищення внутрішньої поверхні трубопроводу здійснюється металевими щітками 3, які, обертаючись із великим крутним моментом, руйнують наявні відкладення. Зруйновані забруднення захоплюються потоком робочого середовища, який рухається вздовж внутрішньої поверхні трубопроводу через гвинтові канали 2, та виносяться перед пристроєм [7].

Висновок до розділу 3

У третьому розділі було розглянуто конструкції та принципи роботи газодинамічних пристроїв для очищення внутрішньої поверхні свердловинних шлейфів. Проведений аналіз показав, що застосування газодинамічних методів очищення дозволяє ефективно видаляти механічні відкладення та забруднення з внутрішньої поверхні трубопроводів за рахунок поєднання дії високошвидкісного газового потоку та механічного впливу очисних елементів.

Досліджено газодинамічний пристрій поздовжньо-обертової дії з надзвуковим соплом і металевою щіткою, який забезпечує інтенсивне

очищення трубопроводу завдяки утворенню надзвукового струменя газу та створенню значного крутного моменту. Встановлено, що використання гвинтових каналів у конструкції сопла дозволяє забезпечити стабільне обертання очисних елементів і підвищити якість очищення внутрішньої поверхні трубопроводу.

Також розглянуто спрощену конструкцію очисного пристрою з гумовим корпусом та металевими щітками, який характеризується простотою конструкції, надійністю роботи та можливістю ефективного використання в трубопроводах малого діаметра. Наявність гвинтових каналів на зовнішній поверхні корпусу забезпечує виникнення крутного моменту під дією потоку робочого середовища, що сприяє обертанню щіток та інтенсифікації процесу очищення.

У результаті проведеного аналізу встановлено, що газодинамічні пристрої є перспективним засобом очищення свердловинних шлейфів, оскільки забезпечують високу ефективність очищення, здатність проходити криволінійні ділянки трубопроводів та можливість експлуатації без складного додаткового обладнання.

4. ОЧИЩЕННЯ ТРУБОПРОВОДІВ ВІД ВУГЛЕВОДНЕВОГО КОНДЕНСАТУ, ВОДИ І ДРІБНОДИСПЕРСНИХ МЕХАНІЧНИХ ДОМІШОК ЗА ДОПОМОГОЮ НИЗЬКОКРАТНИХ І ВИСОКОКРАТНИХ ПІН

4.1 Очищення трубопроводів за допомогою низькократних пін

Незважаючи на значну кількість розроблених механічних очисних пристроїв, їх практичне використання пов'язане з рядом технічних труднощів. До основних із них належать необхідність монтажу вузлів запуску та приймання очисних пристроїв, підтримання необхідного перепаду тиску для забезпечення заданої швидкості їх переміщення трубопроводом (6–30 км/год), а також контроль проходження пристрою по трасі газопроводу.

Крім того, більшість механічних очисних пристроїв мають обмеження щодо ефективної роботи в трубопроводах змінного діаметра, проходження звужень, ділянок із встановленими датчиками чи іншими елементами обладнання. Також виникають труднощі із забезпеченням достатньої герметичності на протяжних ділянках та запобіганням заклинюванню або повному застряганню пристроїв у трубопроводі.

Дослідження, проведені в УкрНДІгазі, підтвердили принципову можливість видалення з трубопроводів вуглеводневого конденсату, води та дрібнодисперсних механічних домішок за допомогою низько- та високократної піни [14].

Метод очищення трубопроводів пінами різної кратності ґрунтується на їх здатності ефективно видаляти різноманітні забруднення завдяки комплексу фізико-хімічних процесів [14].

До основних механізмів очищення належать:

- зменшення поверхневої енергії на межі поділу фаз та формування адсорбційних плівок на частинках забруднень;
- диспергування рідинних частинок піною, унаслідок чого вони набувають більшої рухливості та легко виносяться газодинамічним потоком;
- флотаційне видалення дрібнодисперсних твердих частинок;

- поглинання ліофільних і ліофобних рідин, а також механічних домішок у міжплівковий простір високократної піни завдяки капілярним явищам;
- механічне транспортування забруднень в'язкопружною піною за рахунок ефекту «поршнювання» під дією газодинамічного потоку.

Очищення трубопроводів піною низької кратності ($K = 10\text{--}20$) полягає у заповненні внутрішньої порожнини трубопроводу певним об'ємом піни, яка переміщується під дією перепаду тиску. Генерація піни здійснюється за допомогою змішувачів ежекційного типу. Завдяки швидкості руху до 10 м/с та густині 40–100 кг/м³ рідина, що накопичилась у трубопроводі, видаляється шляхом механічного «поршнювання» піною.

Однак такий метод доцільно застосовувати лише для очищення невеликих ділянок трубопроводів малого діаметра (до 150 мм), зокрема промислових газопроводів.

Для використання цього способу на трубопроводах більшого діаметра необхідні значні об'єми піни. У процесі руху по трубопроводу та контакту з конденсатом піна руйнується, що може спричинити повторне накопичення рідини.

З огляду на зазначені недоліки, застосування цього методу для очищення магістральних газопроводів є малоефективним і практично недоцільним.

4.2 Очищення трубопроводів за допомогою високократних пін

У зв'язку з недоліками очищення трубопроводів піною низької кратності було розроблено спосіб пінного газорідинного очищення магістральних газопроводів із використанням високократної піни ($K = 100\text{--}1000$). Даний метод був випробуваний на ділянці магістрального газопроводу Шебелинка – Харків діаметром 400 мм та довжиною 2450 м [15].

Результати візуального аналізу проб піни на виході з газопроводу показали, що газоконденсат рівномірно розподіляється в її структурі. Це підтверджує механізм дії високократної піни: вона не витісняє конденсат, а

поглинає його завдяки розвиненій капілярній структурі та транспортує за межі трубопроводу.

Для практичної реалізації зазначеного способу були розроблені різні конструкції піногенераторів [16, 17], а також спеціальний пристрій для руйнування піни [18].

4.3 Очищення внутрішньої порожнини газопроводів від рідини шляхом створення імпульсного режиму руху робочого потоку газу перекриттям лінійного крана працюючого газопроводу.

Існують також інші способи очищення внутрішньої порожнини газопроводів від скупчень рідини, зокрема метод створення імпульсного режиму руху газового потоку шляхом перекриття лінійного крана діючого газопроводу [19, 20].

Під час перекриття крана тиск на ділянці газопроводу перед ним зростає. Після досягнення необхідного перепаду тиску до і після крана його швидко відкривають, унаслідок чого різко збільшується швидкість руху газу. Це забезпечує винесення рідини з ділянки трубопроводу перед краном.

Іншим способом створення імпульсного режиму є тимчасове припинення роботи всіх або частини газовидобувних свердловин з подальшим одночасним введенням їх в експлуатацію. Однак застосування такого методу на внутрішньопромислових газопроводах може спричинити порушення встановленого технологічного режиму роботи свердловин та установок підготовки газу, що суттєво обмежує ефективність його використання.

Висновок до розділу 4

У четвертому розділі було розглянуто основні способи очищення трубопроводів від вуглеводневого конденсату, води та дрібнодисперсних механічних домішок із застосуванням низькократних і високократних пін, а також методів імпульсного впливу на потік газу. Проведений аналіз показав, що традиційні механічні очисні пристрої, незважаючи на достатню

ефективність, мають ряд суттєвих експлуатаційних недоліків, пов'язаних із необхідністю встановлення спеціального обладнання для запуску та приймання очисних засобів, підтриманням необхідного перепаду тиску та ризиком застрягання пристроїв у трубопроводі.

Застосування пін різної кратності є перспективним напрямком очищення внутрішньої порожнини трубопроводів. Низьократна піна забезпечує видалення рідини переважно за рахунок механічного поршнювання, однак її ефективне використання обмежується трубопроводами малого діаметра та невеликої протяжності. Для магістральних газопроводів такий спосіб є малоприматним через необхідність використання великих об'ємів піни та її руйнування під час транспортування.

Високократна піна характеризується значно вищою ефективністю очищення. Завдяки розвиненій капілярній структурі вона здатна поглинати та транспортувати конденсат і механічні домішки, що підтверджено результатами випробувань на магістральному газопроводі Шебелинка – Харків. Використання високократної піни дозволяє підвищити якість очищення трубопроводів та зменшити ймовірність повторного накопичення рідини.

Також у розділі розглянуто способи очищення газопроводів шляхом створення імпульсного режиму руху газового потоку. Встановлено, що різке збільшення швидкості руху газу сприяє ефективному винесенню рідких скупчень із внутрішньої порожнини трубопроводу. Разом з тим застосування таких методів може негативно впливати на технологічний режим роботи свердловин і установок підготовки газу, що обмежує сферу їх практичного використання.

Найбільш перспективними для очищення магістральних газопроводів є технології із застосуванням високократних пін, які поєднують високу ефективність очищення, здатність видаляти різномірні забруднення та можливість використання на протяжних ділянках трубопроводів.

5.ОЧИЩЕННЯ ВНУТРІШНЬОЇ ПОРОЖНИНИ ГАЗОПРОВОДІВ ВІД РІДИНИ З ЗАСТОСУВАННЯМ ГЕЛЕПОДІБНИХ ПОРШНІВ

Ще одним напрямком очищення трубопроводів від рідинних скупчень є використання гелеподібних поршнів. Такі пристрої здатні виконувати більшість функцій традиційних механічних поршнів, але при цьому мають низку переваг: можуть брати участь у хімічних реакціях, вводитися в трубопровід через засувки з діаметром прохідного отвору менше 51 мм та не руйнуються під час проходження трубопроводом, як це часто трапляється з механічними очисними пристроями.

Більшість гелів, що застосовуються для очищення трубопроводів, виготовляються на водній основі. Водночас у гелеподібному стані можуть використовуватися також різні хімічні реагенти, розчинники та кислоти.

Під час очищення внутрішньої поверхні трубопроводів переважно застосовують такі види гелів:

- гелі для розділення партій нафтопродуктів;
- гелеподібні поршні для видалення механічних домішок і води;
- вуглеводневі гелі;
- гелі-осушувачі.

5.1 Використання гелів під час послідовного перекачування продуктів трубопроводом

Гелеподібні розділювачі отримують шляхом додавання гуарової смоли до прісної або морської води з безперервним чи періодичним перемішуванням. Концентрацію гелю підбирають залежно від умов експлуатації. Такі гелі характеризуються псевдопластичністю, в'язкопружністю, здатністю відновлювати форму та знижувати дотичні напруження зсуву.

Гелі-розділювачі забезпечують високий рівень герметичності та практично повністю запобігають змішуванню рідин під час їх транспортування трубопроводом.

Одним із запропонованих типів розділювачів є емульсія, до складу якої входять нафта або нафтопродукти, водний розчин поліакриламід, γ -оксид заліза, поверхнево-активна речовина та розчин полівалентного металу [21]. Такий в'язкопружний розділювач розчиняється в бензині, гасі, гексані та толуолі протягом двох діб при температурі 292–295 К, зберігає цілісність під час проходження трубопроводів різного діаметра, є термостійким у межах 263–373 К, відзначається високою еластичністю та має магнітну пам'ять.

Гелевий розділювальний поршень може використовуватись як окремо, так і разом із механічним розділювачем, що підвищує ефективність очищення та зменшує ризик заклинювання механічного поршня. Крім того, гелеві поршні ефективно застосовують для видалення механічних очисних пристроїв, які застрягли в трубопроводі через зношення ущільнювальних манжет або з інших причин.

Довжина гелевих розділювальних поршнів, залежно від діаметра та протяжності трубопроводу, може становити від 60 до 600 м [22].

5.2 Використання гелевих поршнів для винесення механічних домішок і води

Для очищення трубопроводів від механічних домішок і води можуть застосовуватись гелі різних типів, ефективність яких залежить від умов експлуатації. Спеціальний склад гелевого поршня для очищення внутрішньої поверхні трубопроводів був запатентований компанією «Shell Development» та розроблений спільно з компаніями «Shell Expro» і «Dowell Schlumberger».

У 1978 році розпочалися дослідження щодо очищення гелем газопровідної системи «Flags» у Північному морі протяжністю 450 км. Для створення гелю використовувався 1,2 % розчин полімеру «Кельцан ХС» у прісній воді. У результаті очищення було суттєво покращено гідравлічні характеристики газопроводу.

Після викиду очищувального гелевого поршня разом із забрудненнями в море гель швидко диспергувався, а полімер повністю руйнувався без

негативного впливу на довкілля. Саме тому використання цього полімеру було дозволено в британському та норвезькому секторах Північного моря.

Також відомий склад гелеподібного поршня для очищення внутрішньої порожнини каналів, який містить поліакриламід, пісок, нафтове масло, хромову суміш і воду [23]. Такий поршень випробовували на трубопроводі довжиною 31 м і внутрішнім діаметром 25 мм, що мав поворот на 90° та вставки різного діаметра. Гель переміщувався стисненим повітрям зі швидкістю 0,16–0,25 м/с, а перепад тиску становив 4–50 кПа залежно від ступеня забруднення. Після проходження трубопроводу поршень зберіг цілісність і не мав пошкоджень.

Використання гелевих поршнів для очищення газопроводів потребує надійного контролю їх переміщення по трубопроводу та своєчасного вилучення на вході до установок підготовки газу. Якщо поршень не буде видалений із системи, він може накопичуватися у сепараторах води й конденсату, резервуарах для зберігання рідин або переноситися потоком газу до компресорних станцій і магістральних газопроводів.

У зв'язку з цим більш ефективними вважаються саморуйнівні поршні, які здатні самостійно розкладатися через певний проміжок часу. Технологія їх застосування передбачає виготовлення безпосередньо на промисловому майданчику. Для цього готують спеціальну формувальну суміш, яку подають у камеру запуску простої конструкції та витримують до формування поршня. Після цього поршень запускають у трубопровід, де він виконує очищення, а згодом самостійно руйнується.

Застосування саморуйнівних поршнів дозволяє відмовитися від облаштування камер приймання очисних пристроїв та знижує ризик закупорювання трубопроводів.

5.3 Використання гелій осушувачів

Гелі-осушувачі застосовують для підвищення ефективності видалення рідини з внутрішньої порожнини трубопроводів. Для їх виготовлення

використовують гелі на основі спиртів та інших спеціальних реагентів, які забезпечують ефективне осушення трубопроводу.

Гель на основі такого осушувального реагенту, як метанол, можна отримати за допомогою полімерів целюлозного типу. Використання метанольних гелів дозволяє зменшити кількість операцій із запуску механічних поршнів.

Під час застосування осушувальних гелів використовується певна технологічна схема. Спочатку трубопроводом переміщується розділювальний гідрогелевий поршень, основним призначенням якого є видалення основної маси води. Після його проходження на стінках трубопроводу залишається лише тонка водяна плівка, яка поглинається осушувальними реагентами.

Далі рухається осушувальний поршень, що контактує з гідрогелевим поршнем. Це дає змогу запобігти надмірному поглинанню води спиртовим реагентом із гідрогелю. Завершальним елементом системи є механічні поршні, манжети яких ущільнюються осушувальним гелем, а їх переміщення забезпечується потоком газу. Така схема мінімізує проникнення газу в осушувальний поршень і знижує тертя манжет об стінки трубопроводу [15].

5.4 В'язкопружний гелевий очисний поршень

Розглянуті методи очищення трубопроводів гелями свідчать про перспективність їх використання. Однак гелеві поршні мають високу адгезійну здатність, через що під час руху частина гелю залишається на внутрішній поверхні труб. Це може призводити до часткового руйнування гелевого поршня або потребувати закачування значних об'ємів гелю довжиною від кількох десятків до кількох сотень метрів залежно від параметрів трубопроводу.

З цією метою в роботі запропоновано в'язкопружний очисний поршень, до складу якого входять карбоксиметилцелюлоза, спінююча поверхнево-активна речовина та вода [25].

Суть рішення полягає в удосконаленні відомого гелеподібного поршня для очищення внутрішньої порожнини трубопроводу шляхом додаткового введення піноутворюючої ПАР, при цьому як водорозчинний полімер використовується карбоксиметилцелюлоза.

Приготування в'язкопружного очисного поршня здійснюється у визначеній послідовності. У прісну воду додають спінюючу поверхнево-активну речовину та карбоксиметилцелюлозу, після чого суміш ретельно перемішують до отримання однорідної маси. Далі її обробляють метанолом протягом 5–10 хвилин при об'ємному співвідношенні 1:2 та формують у вигляді циліндра діаметром, близьким до внутрішнього діаметра трубопроводу.

У процесі взаємодії однорідної суміші з метанолом відбувається висолування карбоксиметилцелюлози з утворенням пінної твердої структури. При цьому контакт метанолу з піною, що утворюється під час висолування, сприяє перетворенню міжплівкової рідини в еластичну плівку, яка зміцнює структуру піни та підвищує її стійкість.

Основні властивості в'язкопружного очисного поршня:

- не руйнується під час проходження трубопроводів різного діаметра;
- зберігає цілісність при зупинці роботи трубопроводу;
- характеризується низькою адгезією до металу;
- у процесі руху адаптується до геометрії трубопроводу, повністю охоплюючи його периметр;
- після завершення очищення розчиняється у водному середовищі.

Для визначення часу розчинення в'язкопружного поршня у воді, конденсаті та їх суміші були проведені відповідні лабораторні дослідження.

У змішувачі, оснащеному мішалкою, готували композицію з 4 мас. ч. карбоксиметилцелюлози (КМЦ), 95 мас. ч. води та 1 мас. ч. поверхнево-активної речовини (Стінол). Суміш перемішували протягом кількох хвилин до утворення однорідного гелю (рис. 13).

Після цього отриману композицію поміщали у підготовлену ємність із метанолом при об'ємному співвідношенні 1:2 та витримували 5–10 хвилин. Далі суміші надавали циліндричної форми й розміщували її на очищеній та знежиреній поверхні. Інші зразки готували аналогічним способом. У табл. 1 наведено склади в'язкопружних очисних поршнів, підготовлених для дослідження часу їх розчинення у воді, конденсаті та суміші води з конденсатом.

Таблиця 5.1 – Масові частки компонентів в'язкопружного очисного поршня, підготовлених для дослідження часу їх розчинення у воді, конденсаті та суміші води з конденсатом.

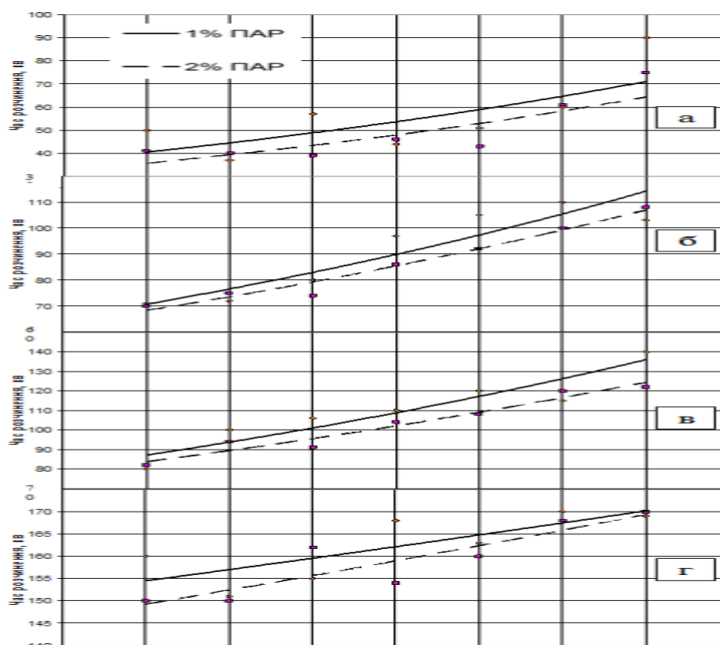
№	КМЦ, % мас	Спінююча ПАР, % мас	Вода, % мас	
1	4	3	96	97
2	8	3	92	93
3	12	3	88	87
4	16	3	84	83
5	20	3	77	76
6	24	3	76	75
7	28	3	72	71

Підготовлені зразки занурювали у відповідні рідини та визначали тривалість їх розчинення. Результати випробувань наведені на рис.5.1.

Лабораторні дослідження показали, що поршні не розчиняються у конденсаті, тоді як у воді та суміші води з конденсатом час їх розчинення становить від 35 хвилин до майже трьох годин.

Аналіз графічної залежності показує, що зі збільшенням концентрації КМЦ у досліджуваному зразку поршня тривалість його розчинення зростає. Водночас підвищення вмісту ПАР, навпаки, сприяє скороченню часу розчинення залежно від типу рідини-розчинника. Встановлено, що при вмісті КМЦ у композиції менше 4 % сформувати поршень неможливо, а при

концентрації понад 30 % не вся підготовлена маса КМЦ переходить у гелеподібний стан.



а – у воді; б – у суміші 75% води і 25% конден-сату; в – у суміші 50% води і 50% конденсату; г – у суміші 25% води і 75% конденсату

Рисунок 5.1 – Результати лабораторних досліджень щодо визначення тривалості розчинення підготовлених зразків поршнів у воді та суміші води з конденсатом при різній концентрації ПАА.



Рисунок 5.2– Формування еластичної плівки на поверхні зразка поршня після обробки гелю метиловим спиртом.

Лабораторні дослідження показали, що поршні не розчиняються у конденсаті, тоді як у воді та суміші води з конденсатом час їх розчинення становить від 35 хвилин до майже трьох годин.

Аналіз отриманих результатів свідчить, що зі збільшенням вмісту КМЦ у складі поршня тривалість його розчинення зростає. Водночас підвищення концентрації ПАР сприяє скороченню часу розчинення залежно від типу рідини-розчинника. При вмісті КМЦ менше 4 % сформувати поршень неможливо, а при концентрації понад 30 % частина КМЦ не переходить у гелеподібний стан.

Найбільший час розчинення зафіксовано у суміші, що містить 25 % води та 75 % конденсату, а найменший — у воді.

Проблема накопичення рідини у знижених ділянках промислових трубопроводів є типовою для більшості газових і газоконденсатних свердловин. У зв'язку з цим необхідно впроваджувати заходи, спрямовані як на запобігання утворенню рідинних скупчень, так і на їх періодичне видалення.

Методи очищення газопроводів за допомогою очисних пристроїв і пінних систем уже довели свою ефективність у практичному застосуванні, однак їх використання обмежується потребою встановлення додаткового обладнання.

Більш перспективними у цьому напрямі є гелеві поршні, проте їх суттєвим недоліком залишається висока адгезія до металеві поверхні трубопроводу.

Розглянутий нами очисний поршень позбавлений цього недоліку, а також має здатність саморозчинятися у воді та суміші води з конденсатом. До його складу входять недорогі у виробництві та нетоксичні компоненти.

Результати лабораторних досліджень показали, що зміна рецептури в'язкопружного очисного поршня дозволяє регулювати час його існування: від приблизно 40 хвилин до понад однієї години у воді та від більше ніж двох до майже трьох годин у суміші води з конденсатом.

Проводились дослідно-промислові випробування запропонованого саморуйнівного в'язкопружного поршня на газових родовищах Передкарпаття для очищення викидних ліній свердловин від забруднень.

Висновок до розділу 5

У п'ятому розділі розглянуто сучасні методи очищення внутрішньої порожнини газопроводів від рідини із застосуванням гелеподібних поршнів. Проведений аналіз показав, що гелеві очисні системи є перспективною альтернативою традиційним механічним поршням завдяки високій герметичності, здатності адаптуватися до геометрії трубопроводу та можливості проходження через ділянки зі змінним діаметром і складною конфігурацією.

Гелеподібні поршні можуть ефективно використовуватись для розділення партій нафтопродуктів, видалення механічних домішок і води, осушення трубопроводів та очищення внутрішньої поверхні від забруднень. Особливу увагу приділено саморуйнівним гелевим поршням, використання яких дозволяє відмовитися від складних систем приймання очисних пристроїв та знизити ризик закупорювання трубопроводів.

У роботі проаналізовано застосування гелів-осушувачів на основі метанолу та целюлозних полімерів. Показано, що використання багатоступеневої схеми очищення із гідрогелевими, осушувальними та механічними поршнями забезпечує ефективне видалення рідини та мінімізує втрати осушувального реагенту.

Особливу увагу в роботі приділено розробленню в'язкопружного гелевого очисного поршня на основі карбоксиметилцелюлози, поверхнево-активної речовини та води. Проведені лабораторні дослідження підтвердили, що запропонований поршень характеризується низькою адгезією до металу, здатністю зберігати цілісність під час проходження трубопроводом і саморозчинятися у воді та суміші води з конденсатом.

Експериментальні результати показали, що тривалість розчинення поршня залежить від концентрації карбоксиметилцелюлози та поверхнево-активної речовини. Зі збільшенням вмісту КМЦ час розчинення зростає, тоді як підвищення концентрації ПАВ сприяє його зменшенню. Найбільший час розчинення спостерігався у суміші з високим вмістом конденсату, а найменший — у воді.

Отримані результати свідчать про перспективність використання в'язкопружних саморуйнівних гелевих поршнів для очищення промислових і магістральних трубопроводів від рідинних скупчень та забруднень. Запропонований поршень поєднує ефективність очищення, технологічну простоту застосування, екологічну безпечність і можливість регулювання часу його існування залежно від умов експлуатації.

6. ОХОРОНА ПРАЦІ І БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

Для введення в трубопровід і вилучення очисних та діагностичних пристроїв використовуються спеціальні камери запуску і приймання, що розташовуються на відкритих виробничих майданчиках уздовж траси трубопроводу.

Розглянемо основні шкідливі та небезпечні виробничі фактори, які виникають або можуть виникати під час виконання робіт з очищення внутрішньої порожнини газопроводів і здатні негативно впливати на здоров'я працівників. Також буде проведено аналіз нормативно допустимих значень цих факторів та розглянуто комплекс організаційних і технічних заходів, спрямованих на їх попередження, зниження рівня впливу або повне усунення.

6.1 Вплив виробничого шуму на працівників

Під час виконання робіт з очищення внутрішньої порожнини газопроводів персонал може зазнавати впливу підвищених рівнів шуму, джерелами якого є робота компресорного обладнання, продування трубопроводів, рух газового потоку під високим тиском, а також функціонування технологічних механізмів і транспортних засобів. Тривалий вплив шуму негативно впливає на фізіологічний та психоемоційний стан працівників, знижує працездатність, концентрацію уваги та може призводити до розвитку професійних захворювань органів слуху.

Відповідно до чинних нормативних вимог еквівалентний рівень шуму на робочих місцях не повинен перевищувати **80 дБА**. Для забезпечення безпечних умов праці необхідно здійснювати постійний контроль шумового навантаження та впроваджувати комплекс організаційних і технічних заходів щодо його зниження.

До основних заходів захисту від шуму належать використання шумопоглинальних і шумозахисних конструкцій, технічне обслуговування обладнання для запобігання підвищенню рівня шуму, обмеження часу

перебування працівників у шумних зонах, а також застосування засобів індивідуального захисту органів слуху — навушників або протишумових вкладишів [16].

Шум як шкідливий виробничий фактор.

Вплив підвищеного рівня шуму на працівників може проявлятися у трьох основних формах: втома слухового аналізатора; шумова травма; професійна приглухуватість.

Найбільш небезпечним наслідком тривалого впливу шуму є професійна приглухуватість, яка характеризується стійким погіршенням слуху та в окремих випадках може призводити до його повної втрати.

Для зниження негативного впливу шумового навантаження застосовують комплекс колективних та індивідуальних заходів захисту [16]. До колективних засобів належать зменшення шуму безпосередньо в місці його виникнення, використання мал шумного обладнання, встановлення шумозахисних екранів, звукоізоляційних конструкцій та інших технічних засобів, спрямованих на зниження рівня шуму в робочій зоні.

До засобів індивідуального захисту належать протишумові навушники та вкладиші, які забезпечують захист органів слуху працівників під час виконання робіт в умовах підвищеного шумового навантаження [16].

6.2 Недостатня освітленість як шкідливий виробничий фактор

Освітлення є одним із найважливіших факторів, що забезпечують безпечні та комфортні умови праці під час виконання виробничих операцій. Недостатній рівень освітленості робочої зони належить до шкідливих виробничих чинників, оскільки може призводити до підвищеного зорового навантаження, швидкої втомлюваності працівників, зниження концентрації уваги, погіршення точності виконання робіт та збільшення ризику виробничого травматизму.

Особливо важливим є забезпечення належного освітлення під час виконання робіт з очищення внутрішньої порожнини газопроводів, оскільки

значна частина операцій пов'язана з контролем технічного стану обладнання, обслуговуванням камер запуску та приймання очисних пристроїв, а також проведенням монтажних і ремонтних робіт.

Відповідно до вимог нормативних документів, рівень освітленості робочих місць повинен відповідати характеру виконуваних робіт та забезпечувати чітке розрізнення об'єктів спостереження. Для нормалізації освітленості виробничих приміщень і робочих місць застосовують природне та штучне освітлення, а також спеціальні технічні засоби освітлення [24].

До основних заходів щодо забезпечення нормативного рівня освітленості належать:

- використання ефективних джерел світла та сучасних освітлювальних приладів;
- раціональне розміщення світильників у робочій зоні;
- застосування світлових прорізів і світлопрозорих конструкцій для використання природного освітлення;
- регулярне очищення світильників та світлопрозорих поверхонь від забруднень;
- використання переносних вибухозахищених світильників під час проведення робіт на об'єктах газотранспортної системи;
- застосування захисних окулярів і світлофільтрів за необхідності.

Для забезпечення безпечного виконання технологічних операцій у нічний час необхідно створити нормативний рівень освітленості робочого майданчика. З цією метою виконується розрахунок необхідної кількості прожекторів, які забезпечуватимуть належні умови праці та безпечне проведення робіт.

Орієнтовну кількість прожекторів N , необхідних для досягнення нормативної освітленості робочої зони, визначають за такою формулою:

З метою забезпечення нормативних вимог до освітлення робочого майданчика під час виконання робіт у темний період доби проводиться розрахунок кількості прожекторів, необхідних для створення заданого рівня освітленості. Орієнтовна кількість прожекторів N визначається за відповідною розрахунковою залежністю:

$$N = F \cdot \eta \cdot z \cdot E \cdot S \quad (6.1)$$

E_n — нормативне значення освітленості робочої поверхні, лк;

S — площа робочої ділянки, що підлягає освітленню, м²;

F — світловий потік одного прожектора, лм;

η — коефіцієнт використання світлового потоку освітлювальної установки;

z — коефіцієнт запасу, який враховує зниження освітленості в процесі експлуатації внаслідок забруднення світильників, старіння джерел світла та інших факторів (зазвичай приймається в межах 1,3–1,5);

P_l — потужність лампи, Вт.

Для виконання розрахунку приймаємо нормативну освітленість робочої зони $E_n=250$ лк. У прожекторах використовуються лампи потужністю 720 Вт, що забезпечують необхідний світловий потік для освітлення робочого майданчика.

$$N = 0,3 * 250 * 1,7 * 100 / 700 = 16$$

Результати розрахунку показали, що для створення нормативної освітленості робочої зони доцільно використовувати шість прожекторних щогл. Кожна щогла оснащується трьома прожекторами, що забезпечує необхідний рівень освітлення території під час виконання робіт у нічний час. З метою підвищення ефективності освітлення та забезпечення нормативних показників освітленості прожекторні щогли доцільно розміщувати за шаховою схемою. Це сприяє більш рівномірному освітленню робочої зони, зменшенню кількості тіньових зон і покращенню умов виконання технологічних операцій [25].

6.3 Підвищена концентрація пилу і газів у виробничому середовищі

Підвищена концентрація пилу та газоподібних речовин у повітрі робочої зони є одним із небезпечних виробничих факторів, що негативно впливає на здоров'я працівників. Тривалий вплив пилу може спричиняти подразнення слизових оболонок, захворювання органів дихання, шкіри та органів зору. На початкових стадіях вплив пилу проявляється подразненням верхніх дихальних шляхів, а в подальшому може викликати кашель, утруднене дихання та інші професійні захворювання.

Особливу небезпеку під час виконання робіт на об'єктах газотранспортної системи становить загазованість повітря природним газом або іншими шкідливими домішками, що можуть утворювати вибухонебезпечні концентрації та негативно впливати на організм людини.

Відповідно до нормативних вимог [22], для захисту працівників від підвищеної запиленості та загазованості застосовують місцеві витяжні вентиляційні установки, протипилові респіратори, захисні окуляри та спеціальний захисний одяг.

Гранично допустима концентрація пилу, який належить до речовин помірної небезпеки, становить від 1,2 до 11 мг/м³, тоді як для природного газу допустима концентрація встановлена на рівні 320 мг/м³.

Контроль повітряного середовища необхідно проводити безпосередньо в робочій зоні за умов, максимально наближених до реального технологічного процесу. Для цього використовують переносні газоаналізатори, сигналізатори загазованості або шахтні лампи. Концентрація шкідливих речовин у повітрі не повинна перевищувати встановлених нормативних значень.

У разі виникнення ризику перевищення гранично допустимих концентрацій працівники повинні бути забезпечені відповідними засобами індивідуального захисту органів дихання, зокрема фільтрувальними респіраторами або протигазами, залежно від характеру та рівня забруднення повітряного середовища [26].

6.4 Ризики, пов'язані з експлуатацією рухомих машин і механізмів

Під час виконання робіт із запуску та приймання внутрішньотрубних очисних і діагностичних пристроїв застосовуються вантажопідіймальні механізми, пересувна спеціалізована техніка та допоміжне технологічне обладнання. Основну небезпеку для працівників становлять рухомі частини машин і механізмів, зона дії стріл вантажопідіймальних кранів, переміщення транспортних засобів по виробничому майданчику, а також роботи з підвішеними вантажами.

Відповідно до вимог нормативних документів [17], до виконання ремонтних та експлуатаційних робіт на лінійній частині магістральних газопроводів допускаються лише працівники, які мають відповідну професійну підготовку та щорічно проходять перевірку знань з питань охорони праці згідно з НПАОП 0.00-4.12-05. Усі роботи повинні виконуватися за нарядом-допуском під керівництвом відповідальної особи.

Для запобігання виробничому травматизму працівники зобов'язані використовувати засоби індивідуального захисту, зокрема захисні каски, рукавиці та спеціальний одяг відповідно до вимог ДСТУ EN ISO 13688:2017. Безпечна експлуатація машин і механізмів забезпечується застосуванням огорожувальних пристроїв, блокувань, систем сигналізації та засобів дистанційного керування згідно з вимогами ДСТУ EN 60204-1. Крім того, робочі місця повинні бути обладнані відповідними знаками безпеки відповідно до вимог ДСТУ ISO 6309-2007 та ДСТУ ISO 7010:2019.

6.5 Небезпека експлуатації електрообладнання

Електротравматизм належить до найбільш небезпечних виробничих факторів під час виконання робіт на об'єктах газотранспортної системи. Джерелами потенційного ураження електричним струмом можуть бути корпуси електрообладнання при пошкодженні ізоляції та появі напруги на

металевих частинах, переносний електроінструмент, а також електротехнічне обладнання, що експлуатується в умовах підвищеної вологості або впливу агресивних середовищ [27].

Відповідно до вимог нормативних документів [27], ураження електричним струмом можливе при одночасному контакті людини з двома точками електричного кола, які мають різні потенціали, або при дотику до струмоведучих частин та землі. Дія електричного струму на організм людини може призвести до електричних ударів, термічних опіків, порушення функцій дихання, механічних ушкоджень, фібриляції серця, а також професійних захворювань, спричинених тривалим впливом електромагнітних полів.

Основними причинами виникнення електротравм є порушення вимог безпечної експлуатації електроустановок, виконання робіт без зняття напруги та оформлення наряду-допуску, незадовільний стан ізоляції електропроводки, використання несправного електроінструменту, відсутність або неправильне застосування засобів індивідуального захисту, випадковий контакт зі струмоведучими частинами, несправність систем заземлення чи занулення, пошкодження переносних кабелів і подовжувачів, а також допуск до робіт персоналу, який не має відповідної групи з електробезпеки [27].

Для запобігання ураженню електричним струмом необхідно забезпечувати справний технічний стан електрообладнання, своєчасно проводити перевірку ізоляції та заземлювальних пристроїв, використовувати справні засоби індивідуального захисту та допускати до виконання робіт лише працівників, які пройшли відповідне навчання і перевірку знань з електробезпеки.

6.6 Екологічні вимоги при експлуатації газотранспортних об'єктів

Більшість об'єктів нафтогазового комплексу України експлуатуються протягом тривалого часу, що підвищує ризик негативного впливу виробничої

діяльності на навколишнє середовище та потребує посиленого екологічного контролю.

Під час виконання робіт з очищення внутрішньої порожнини трубопроводів необхідно забезпечувати постійний моніторинг стану довкілля та дотримання природоохоронних вимог. Контроль вмісту шкідливих речовин у повітрі здійснюється за допомогою газоаналізаторів, які відповідають вимогам чинних нормативних документів, зокрема ДСТУ EN 60079, ДСТУ ISO 4225 та НПАОП 0.00-1.76-15 [16].

Очищення пускових і приймальних камер повинно виконуватися на спеціально обладнаних майданчиках із твердим покриттям та системами збору забруднених рідин. Це дозволяє запобігти потраплянню нафтопродуктів і технологічних відходів у ґрунт, поверхневі та підземні води, що відповідає вимогам природоохоронного законодавства України.

Місця проведення технологічних операцій необхідно оснащувати:

- локальними системами збору та герметичного зберігання відходів;
- засобами локалізації можливих розливів рідин (лотками, бортиками, сорбентами);
- вентиляційними системами та засобами автоматичного контролю концентрації шкідливих речовин у повітрі.

До основних заходів забезпечення екологічної безпеки належать:

- контроль вмісту забруднювальних речовин у повітрі робочої зони відповідно до встановлених нормативів;
- своєчасне збирання, транспортування та утилізація виробничих відходів;
- постійний контроль герметичності технологічного обладнання та трубопроводів;

- проведення виробничого екологічного моніторингу та періодичних екологічних аудитів. [16].

Забруднення атмосферного повітря на об'єктах газотранспортної системи може виникати внаслідок порушення герметичності технологічного обладнання, зношення ущільнювальних елементів, несправності запірно-регулювальної арматури, а також під час проведення ремонтних і профілактичних робіт, пов'язаних із розгерметизацією окремих ділянок трубопроводів.

У разі виникнення витоків до атмосферного повітря можуть надходити легкі газоподібні вуглеводні, зокрема метан, етан, пропан і бутан, які належать до речовин 4-го класу небезпеки. Крім того, можливі викиди більш токсичних сполук, таких як сірководень та етилмеркаптан, що відносяться до 2-го класу небезпеки. Класифікація зазначених речовин відповідає чинним санітарно-гігієнічним нормам України.

Викиди вуглеводневих газів і токсичних домішок становлять небезпеку як для персоналу, так і для навколишнього середовища, оскільки можуть спричиняти забруднення атмосферного повітря та утворення вибухонебезпечних газоповітряних сумішей [28].

Для зниження ризику забруднення атмосфери на об'єктах магістральних газопроводів і компресорних станцій необхідно забезпечувати систематичний контроль технічного стану обладнання та своєчасне виявлення витоків газу. Важливе значення має суворе дотримання вимог технологічних інструкцій з експлуатації компресорних станцій і нормативних документів з безпечної експлуатації магістральних газопроводів (НПАОП 60.1-1.01-10), що сприяє запобіганню аварійним викидам газу.

Особливу увагу необхідно приділяти своєчасній заміні зношених ущільнювальних елементів і вузлів обладнання, які є однією з основних

причин виникнення мікровитоків та розгерметизації. Виконання цих робіт здійснюється відповідно до вимог експлуатаційної документації виробників обладнання та графіків планово-попереджувальних ремонтів.

Для контролю газового середовища на виробничих об'єктах обов'язковим є використання стаціонарних і переносних газоаналізаторів, систем аварійного відключення обладнання, вентиляційних установок та засобів безперервного моніторингу концентрацій метану, сірководню та інших небезпечних компонентів у повітрі. Застосування зазначених технічних засобів забезпечує своєчасне виявлення перевищення допустимих концентрацій шкідливих речовин та запобігає утворенню вибухонебезпечних газоповітряних сумішей [29].

6.7 Управління ризиками надзвичайних ситуацій

Надзвичайна ситуація — це порушення нормальних умов життєдіяльності населення на певній території або об'єкті, спричинене аварією, катастрофою, стихійним лихом чи іншою небезпечною подією, що може призвести до людських жертв, завдати шкоди здоров'ю людей, навколишньому природному середовищу, об'єктам господарювання та спричинити значні матеріальні збитки.

На об'єктах трубопровідного транспорту виникнення надзвичайних ситуацій може бути пов'язане як із технічними несправностями обладнання, так і з помилками обслуговуючого персоналу. До основних причин аварій належать порушення вимог охорони праці, недотримання технологічних регламентів, низький рівень виробничої дисципліни та недостатня професійна підготовка працівників.

Суттєву небезпеку становлять відмови систем контролю, автоматизації та сигналізації. Такі несправності можуть проявлятися у вигляді некоректної роботи датчиків, відсутності сигналів від систем контролю тиску, температури

або загазованості, а також відмов резервних каналів зв'язку та електроживлення.

До можливих технічних причин виникнення надзвичайних ситуацій належать:

- порушення герметичності трубопроводів і технологічного обладнання;
- відмова контрольно-вимірювальних приладів та засобів автоматики;
- короткі замикання та перевантаження електричних мереж;
- несправність запірної арматури;
- пошкодження резервних систем енергозабезпечення;
- корозійне руйнування елементів трубопроводу;
- механічні пошкодження обладнання в процесі експлуатації.

Для запобігання виникненню надзвичайних ситуацій необхідно забезпечувати постійний контроль технічного стану обладнання, своєчасне проведення планово-попереджувальних ремонтів, перевірку працездатності систем автоматичного контролю та аварійного захисту, а також регулярно навчати. Під час виконання ремонтних і технологічних робіт значна кількість аварійних ситуацій виникає через недотримання організаційно-технічних заходів безпеки, виконання робіт без оформленого наряду-допуску, порушення вимог газобезпеки та невикористання засобів індивідуального захисту.

Причинами аварій на об'єктах трубопровідного транспорту також можуть бути фізичне та моральне старіння обладнання, корозійне руйнування стінок трубопроводів, втрата герметичності зварних і фланцевих з'єднань, а також гідравлічні удари, що виникають унаслідок різких змін тиску в системі. Додатковими чинниками ризику є несприятливі природні явища (урагани,

шквальні вітри, блискавки, підтоплення, зсуви ґрунту), транспортні аварії та навмисне втручання сторонніх осіб.

Під час експлуатації камер запуску та приймання очисних і діагностичних пристроїв можливе виникнення таких надзвичайних ситуацій:

1. Розгерметизація камери, що може бути спричинена несправністю запірної арматури, пошкодженням корпусу або порушенням порядку відкривання та закривання камери.
2. Аварійний викид газу в атмосферу, який супроводжується загазованістю робочої зони та створенням вибухонебезпечного середовища.
3. Пожежа, що може виникнути внаслідок займання вуглеводневих газів від нагрітих поверхонь обладнання, іскроутворення або розрядів статичної електрики.
4. Вибух газоповітряної суміші, причинами якого можуть бути перевищення допустимих концентрацій горючих газів, увімкнення електрообладнання в умовах загазованості або порушення вимог щодо проведення газонебезпечних робіт [30].

Відповідно до нормативних вимог [11], для попередження надзвичайних ситуацій необхідно здійснювати регулярний технічний огляд і діагностику обладнання, забезпечувати постійний контроль загазованості за допомогою датчиків метану (CH_4) та сірководню (H_2S), виконувати роботи виключно за нарядом-допуском, використовувати засоби індивідуального захисту відповідно до вимог НПАОП 0.00-3.03-18, підтримувати справність систем блискавкозахисту, а також розробляти й регулярно актуалізовувати плани локалізації та ліквідації аварійних ситуацій.

Висновки до розділу 6

У даному розділі проведено аналіз умов праці під час виконання робіт з очищення внутрішньої порожнини магістральних газопроводів та розглянуто

основні шкідливі й небезпечні виробничі фактори, що можуть виникати під час експлуатації камер запуску і приймання очисних та діагностичних пристроїв.

Встановлено, що найбільший вплив на безпеку працівників справляють виробничий шум, недостатня освітленість робочої зони, підвищена концентрація пилу та газів у повітрі, експлуатація рухомих машин і механізмів, а також небезпека ураження електричним струмом. Для кожного із зазначених факторів проаналізовано нормативні вимоги та визначено комплекс організаційних, технічних і санітарно-гігієнічних заходів, спрямованих на зниження рівня професійних ризиків і забезпечення безпечних умов праці.

Виконано розрахунок штучного освітлення робочого майданчика для проведення робіт у нічний час, за результатами якого визначено необхідну кількість прожекторних щогл та обґрунтовано їх раціональне розміщення для забезпечення нормативної освітленості робочої зони.

Окрему увагу приділено питанням екологічної безпеки під час виконання робіт на об'єктах газотранспортної системи. Розглянуто заходи щодо запобігання забрудненню атмосферного повітря, ґрунтів і водних ресурсів, контролю герметичності технологічного обладнання, моніторингу викидів небезпечних речовин та належного поводження з виробничими відходами.

Проаналізовано основні причини виникнення надзвичайних ситуацій на об'єктах трубопровідного транспорту, зокрема розгерметизацію обладнання, аварійні викиди газу, пожежі та вибухи газоповітряних сумішей. Визначено комплекс профілактичних заходів, що включає технічну діагностику обладнання, контроль загазованості, виконання робіт за нарядом-допуском, використання засобів індивідуального захисту та розроблення планів локалізації і ліквідації аварійних ситуацій.

ВИСНОВОК

У кваліфікаційній роботі проведено комплексний аналіз сучасних методів очищення та діагностування магістральних газопроводів, досліджено особливості застосування внутрішньотрубних очисних і діагностичних пристроїв, а також розглянуто питання забезпечення безпечної експлуатації газотранспортних систем.

У першому розділі проаналізовано сучасні методи внутрішньотрубною діагностики магістральних газопроводів. Встановлено, що якість та достовірність результатів діагностування безпосередньо залежать від ефективності попереднього очищення внутрішньої поверхні трубопроводу. Розглянуті методи геометричного, магнітного та навігаційного контролю забезпечують своєчасне виявлення дефектів і дозволяють підвищити рівень надійності експлуатації газотранспортної системи.

У другому розділі досліджено існуючі типи очисних пристроїв та технологій очищення внутрішньої порожнини трубопроводів. Проведений аналіз показав, що найбільш перспективним напрямком є використання комбінованих систем очищення, які поєднують механічний, гідродинамічний та фізико-хімічний вплив на відкладення, забезпечуючи високу якість підготовки трубопроводів до діагностичних обстежень.

У третьому розділі розглянуто конструкції газодинамічних пристроїв для очищення свердловинних шлейфів. Встановлено, що застосування газодинамічних методів очищення дозволяє інтенсифікувати процес видалення забруднень завдяки використанню надзвукових газових потоків і поздовжньо-обертового руху очисних елементів.

У четвертому розділі досліджено технології очищення трубопроводів із використанням низько- та високочастотних пін, а також

методів імпульсного впливу на потік газу. Встановлено, що найбільш ефективними для очищення протяжних магістральних газопроводів є високократні піни, які забезпечують якісне видалення рідинних скупчень і механічних домішок.

У п'ятому розділі проаналізовано сучасні методи очищення трубопроводів за допомогою гелеподібних поршнів. Особливу увагу приділено розробленню в'язкопружного саморуйнівного гелевого поршня на основі карбоксиметилцелюлози. Результати досліджень підтвердили ефективність запропонованої конструкції, її здатність забезпечувати якісне очищення трубопроводів та самостійно руйнуватися після завершення технологічного процесу без необхідності застосування спеціальних приймальних пристроїв.

У шостому розділі проведено аналіз умов праці під час виконання робіт з очищення внутрішньої порожнини газопроводів. Розглянуто основні небезпечні та шкідливі виробничі фактори, питання екологічної безпеки та заходи щодо попередження надзвичайних ситуацій. Виконано розрахунок освітлення робочого майданчика та визначено комплекс організаційно-технічних заходів, спрямованих на забезпечення безпечних умов праці персоналу.

Результати проведених досліджень підтвердили перспективність використання сучасних газодинамічних, пінних та гелевих технологій очищення магістральних газопроводів.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ НА ДЖЕРЕЛА

1. Трубопровідний транспорт газу/ М.П.Ковалко, В.Я.Грудз, В.Б.Михалків та ін. – Київ:-АренаЕКО, - 2002. – 600 с.
2. Касперович В.К. Трубопровідний транспорт газу / Касперович В.К. – Івано-Франківськ: Факел, 1999. – 198 с.
3. Дорошенко Я. В. Спорудження магістральних трубопроводів / Я. В. Дорошенко. – Івано-Франківськ : ІФНТУНГ, 2010. – 563 с.
4. Капцов І. І. Скорочення втрат газу на магістральних. газопроводи. К.: Надра, 2001. 160 с.
5. Довідник з нафтогазової справи / [ред. В. С. Бойко, Р. М. Кондрат, Р. С. Яремійчук]. – Львів, 1996. – 620 с.
6. Гончаров В. І., Капцов І. І., Тихомиров В. К. Дослідно-промислові випробування способу пінного очищення магістральних газопроводів // Нафтова і газова промисловість. – 1988. – № 4. – С. 42–44.
7. Попадюк Р. М. Збір і підготовка нафтопромислової продукції :[навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл.] / Р. М. Попадюк, Я. В. Солончак.– Івано-Франківськ : ІФНТУНГ, 2009. – 194 с.
8. Експлуатаційникові газонафтового комплексу: довідник /В. В. Розгонюк, Л. А. Хачикян, М. А. Григіль, О. С. Удалов, В. П. Нікішин]. – К. : Росток, 1998. – 430 с.
9. ДСТУ ENV 25349-2001
- 10.ДБН В.1.1-31
- 11.ДСТУ-Н Б А.3.2-1:2007
- 12.ДСТУ 7302:2013
- 13.Закон України Про охорону праці.
14. ДСТУ 12.1.003:2014 «Рівень шуму»
- 15.НПАОП 0.00-1.07-94 — «Правила будови і безпечної експлуатації посудин, що працюють під тиском».
- 16.ДБН В.2.5-28:2018 — природне і штучне освітлення;
- 17.ДСТУ EN 12464-1:2014 — освітлення робочих місць;

18. ДСН 3.3.6.037-99

19. НПАОП 40.1-1.32-01 „Правила будови електроустановок.
Електрообладнання спеціальних установок”.

20. НАПБ В.01.056-2005/111 "Правила будови електроустановок.
Протипожежний захист електроустановок”.