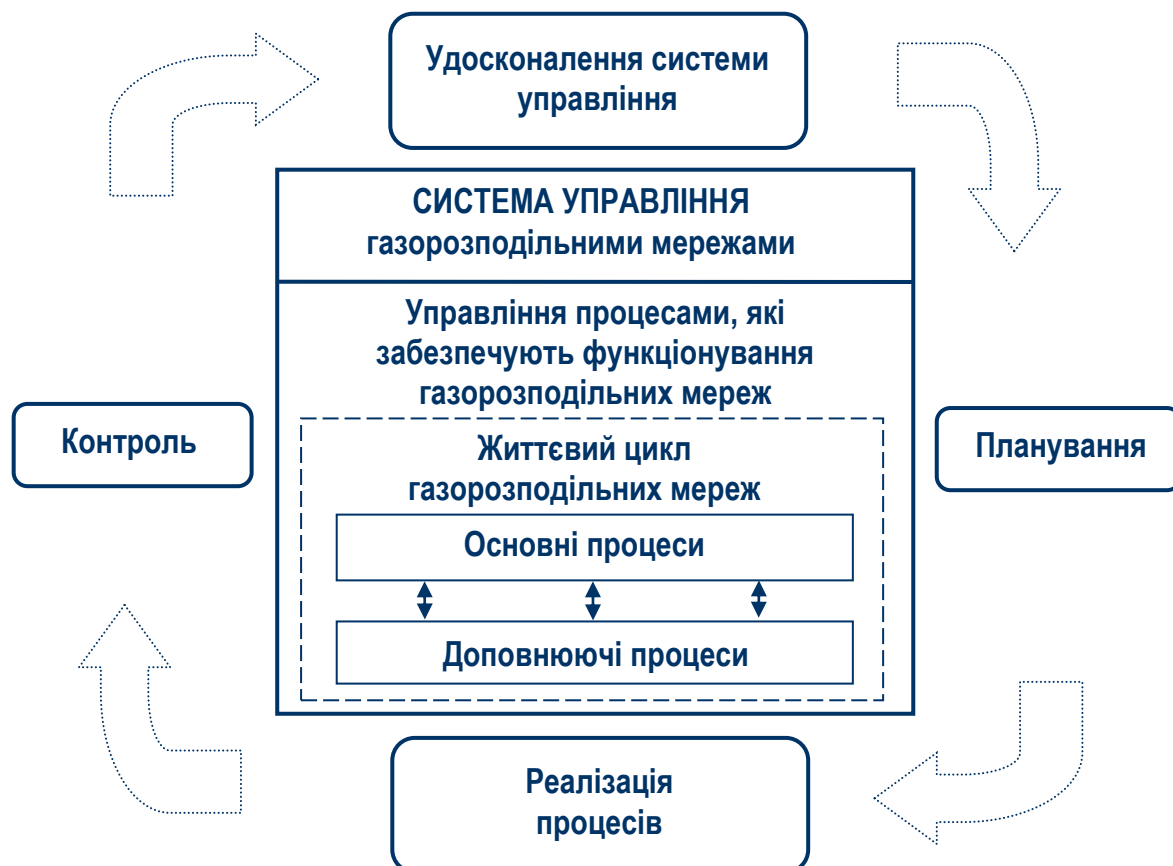


Г.С. Ратушняк, О.І. Ободянська

# УПРАВЛІННЯ ЗМІСТОМ ПРОЕКТІВ ІЗ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НАДІЙНОСТІ ЗОВНІШНІХ ГАЗОРОЗПОДІЛЬНИХ МЕРЕЖ





Міністерство освіти і науки України  
Вінницький національний технічний університет

**Г. С. Ратушняк, О. І. Ободянська**

**УПРАВЛІННЯ ЗМІСТОМ ПРОЕКТІВ  
ІЗ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НАДІЙНОСТІ ЗОВНІШНІХ  
ГАЗОРОЗПОДІЛЬНИХ МЕРЕЖ**

**Монографія**

Вінниця  
ВНТУ  
2014

УДК 697.8

ББК 39.76

Р 25

Рекомендовано до друку вченою радою Вінницького національного технічного університету Міністерства освіти і науки України (протокол № \_\_\_ від \_\_\_\_\_)

Рецензенти:

**В. М. Желих**, доктор технічних наук, професор

**І. П. Паламарчук**, доктор технічних наук, професор

**Ратушняк, Г. С.**

Р Управління змістом проектів із забезпечення надійності зовнішніх газорозподільних мереж: монографія / Г. С. Ратушняк, О. І. Ободянська. – Вінниця, 2014. – 130 с.

ISBN

В монографії проаналізовано сучасний стан організаційно-технологічного та технічного забезпечення надійності та довговічності споруд систем газопостачання. Наведено концептуально-теоретичні основи управління проектами організаційно-технологічного забезпечення надійності та довговічності зовнішніх газорозподільних мереж. Запропоновано методи та моделі управління проектами організаційно-технологічного забезпечення надійності та довговічності споруд газорозподільних мереж.

**УДК 697.8**

**ББК 39.76**

ISBN

© Г. Ратушняк, О. Ободянська, 2014

## ЗМІСТ

1 АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ ОРГАНІЗАЦІЙНО-ТЕХНОЛОГІЧНОГО ТА ТЕХНІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НАДІЙНОСТІ ТА ДОВГОВІЧНОСТІ СПОРУД СИСТЕМ ГАЗОПОСТАЧАННЯ .....	7
1.1 Сучасний стан наукових розробок та практичного досвіду забезпечення експлуатаційної надійності та довговічності споруд систем газопостачання .....	7
1.2 Чинники організаційно-технологічного забезпечення довговічності та надійності споруд систем газопостачання .....	17
1.3 Методи й моделі оцінювання та прогнозування організаційно-технологічного забезпечення технічного стану й надійності інженерних мереж систем газопостачання .....	19
2 КОНЦЕПТУАЛЬНО-ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ УПРАВЛІННЯ ПРОЕКТАМИ ОРГАНІЗАЦІЙНО-ТЕХНОЛОГІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НАДІЙНОСТІ ТА ДОВГОВІЧНОСТІ ЗОВНІШНІХ ГАЗОРОЗПОДІЛЬНИХ МЕРЕЖ.... <b>Error! Bookmark not defined.</b>	
2.1 Моніторинг та експертно-аналітична оцінка надійності зовнішніх газорозподільних мереж .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
2.2 Експериментальне дослідження фактичного технічного стану сталевих трубопроводів газорозподільної мережі ..	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
2.3 Оцінювання технічного стану сталевих підземних газопроводів з врахуванням впливу блукаючих струмів на інтенсивність електрохімічної корозії.....	36
3 МОДЕЛЮВАННЯ УПРАВЛІННЯ ПРОЕКТАМИ ОРГАНІЗАЦІЙНО-ТЕХНОЛОГІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НАДІЙНОСТІ СПОРУД ГАЗОРОЗПОДІЛЬНИХ МЕРЕЖ .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
3.1 Методи моделювання управління проектами....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>

3.2 Формалізація, ієрархічна класифікація та функції належності нечітких оцінок впливу параметрів на надійність та довговічність споруд зовнішніх газорозподільних мереж .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
3.2.1 Побудова ієрархічних зв'язків факторів, що впливають на технічний стан системи газопостачання .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
3.2.2 Побудова функцій належності нечітких оцінок впливу факторів на прогнозований технічний стан газорозподільних мереж.....	49
3.3 Моделювання інтелектуальної підтримки оцінювання експлуатаційної надійності споруд зовнішніх газорозподільних мереж.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
3.3.1 Моделювання оцінювання технічного стану системи газопостачання на рівні проектних рішень.....	58
3.3.2 Моделювання оцінювання технічного стану системи газопостачання на рівні будівельно-монтажних робіт .....	62
3.3.3 Моделювання оцінювання технічного стану системи газопостачання на рівні експлуатації системи газопостачання .....	67
3.4 Аналітичні моделі функцій належності експертних нечітких баз знань, що впливають на організаційно-технологічний механізм управління проектами надійності споруд газових мереж .....	71
3.5 Оцінка адекватності моделі підтримки прийняття організаційно-технологічних управлінських рішень в проектах оцінювання надійності споруд газових мереж.....	83
<b>4 МЕТОДОЛОГІЧНЕ ТА ОРГАНІЗАЦІЙНО-ТЕХНІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ УПРАВЛІННЯ ПРОЕКТАМИ НАДІЙНОСТІ ЗОВНІШНІХ ГАЗОРОЗПОДІЛЬНИХ МЕРЕЖ....</b>	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
4.1 Визначення пріоритету факторів впливу технічного стану газових мереж на їх надійність.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
4.2 Оцінювання ризиків ймовірностей виникнення аварійної ситуації в системах газопостачання з використанням експертної лінгвістичної інформації .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>

4.3 Технологічні та технічні рішення підвищення експлуатаційної надійності та довговічності металевих газопроводів шляхом їх електрохімічного захисту.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
4.4 Технологія влаштування вертикального глибинного анодного заземлювача з металонасиченого бетону .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
ВИСНОВКИ.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
ЛІТЕРАТУРА .....	29

## ВСТУП

Одним з найголовніших стратегічних завдань забезпечення надійності поставок природного газу на європейський ринок та забезпечення власних споживачів є підтримання на високому технічному рівні та подальше розширення газотранспортної системи України. Обстеження газопроводів та їхніх споруд необхідне для визначення їх технічного стану, а також можливостей й умов подальшої експлуатації. Позитивні показники технічного стану характеризують безпечну й надійну експлуатацію газопроводів і споруд на них.

На сьогоднішній день на об'єктах системи газопостачання спостерігається певне зростання кількості надзвичайних ситуацій з негативними екологічними наслідками. Причинами аварії є те, що близько 29 % газопроводів відпрацювали свій амортизаційний термін, майже 60 % експлуатуються від 10 до 33 років. Крім того, кожен третій агрегат із перекачування газу відпрацював моторесурс і потребує реконструкції, 11,6 тис. км газових мереж (близько 7 %) і 4,9 тис. газорегуляторних пунктів (близько 14 %) експлуатуються більше відведеного амортизаційного терміну. Точні числові величини надійності параметрів елементів системи газопостачання відсутні або параметри мають велику невизначеність. Існуючі методи оцінки ризиків аварії в системах газопостачання не дозволяють оцінити негативні впливи на систему в цілому, оскільки ґрунтуються на використанні параметрів з великою невизначеністю.

Вітчизняні науковці приділяють основну увагу дослідженням та покращенням існуючих методів, способів, методик та технічних засобів оцінки та контролю технічного стану газопроводу. Практично відсутні експериментальні та теоретичні дослідження впливу кількісних та якісних факторів зовнішнього впливу на технічний стан системи газопостачання. Не існують обґрунтовані методи вирішення проблеми управління організаційно-технологічними заходами щодо діагностування технічного стану системи газопостачання. Не запропоновано обґрунтованих моделей інтелектуальної підтримки



прийняття рішень з оцінювання технічного стану елементів систем газопостачання з врахуванням якісних характеристик.

Однією із причин низької надійності систем газопостачання є відсутність вдосконаленого комплексного інструментарію з оцінювання і прогнозування їх технічного стану, який би враховував фактори, які мають кількісний і якісний характер. Розв'язання цієї задачі можливе з використанням математичної моделі прийняття управлінських рішень, розробленої з використанням теорії нечіткої логіки та лінгвістичних змінних, яка дозволяє при моделюванні враховувати кількісні та якісні збуджуючі параметри, які впливають на надійність системи газопостачання. Нечіткі системи керування ефективно використовуються там, де об'єкт керування достатньо складний для його точного опису та існує дефіцит апріорної інформації про поведінку системи. Таким об'єктом керування є система газопостачання. Нечіткі системи керування мають базу знань і елементи штучного інтелекту та можуть бути реалізовані спеціальними нечіткими контролерами, в яких нечіткі висновки виконуються шляхом обчислення характеристичних значень вихідної лінгвістичної змінної через характеристичні значення вхідних лінгвістичних змінних за логічними формулами.

Таким чином, **актуальність цієї наукової роботи** полягає у подальшому розвитку, вдосконаленні і підвищенні ефективності технології моделей та методів управління проектами організаційно-технологічного забезпечення надійності та довговічності споруд газорозподільних мереж.

Метою цієї роботи є створення моделей та методів підвищення ефективності прийняття управлінського рішення у процесі оцінювання та прогнозування технічного стану трубопровідної системи газопостачання з метою забезпечення їх надійної експлуатації.

Наукова робота виконана на кафедрі теплогазопостачання і вентиляції Вінницького національного технічного університету.

# **1 АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ ОРГАНІЗАЦІЙНО-ТЕХНОЛОГІЧНОГО ТА ТЕХНІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НАДІЙНОСТІ ТА ДОВГОВІЧНОСТІ СПОРУД СИСТЕМ ГАЗОПОСТАЧАННЯ**

## **1.1 Сучасний стан наукових розробок та практичного досвіду забезпечення експлуатаційної надійності та довговічності споруд системи газопостачання**

В структурі світового споживання енергоресурсів частка природного газу безперервно росте. В паливному балансі України вона складає біля 50 %. Газова промисловість нашої країни розвивається і функціонує у вигляді єдиної системи газопостачання, яка являє собою цілісність окремих взаємозалежних елементів: об'єктів видобутку, магістрального транспорту газу і газорозподільної системи (рис. 1.1). Порушення діяльності будь-якого з елементів системи призводить до однакових наслідків – зниження надійності та ефективності газопостачання. Газорозподільна система – найскладніша складова в загальній структурі газопостачання з безліччю різноманітних функцій, що включають насамперед транспортування, розподіл та облік витрати природного газу. Забезпечення нормальної діяльності кожної з цих ланок, підвищення їхньої надійності, організація раціонального споживання газу будуть сприяти ефективній роботі всієї системи газопостачання, що є актуальною проблемою.

Ускладнення структури, збільшення довжини і зростання енергоємності регіональних систем газопостачання (РСГ), а також суттєві зміни їх експлуатаційних режимів призвели до того, що традиційні методи управління, які застосовувалися у цих системах, перестали бути ефективним засобом раціонального ведення процесів транспорту і розподілу природного газу в РСГ. Це призвело до різкого зростання непродуктивних витрат матеріальних і енергетичних ресурсів в газозбутових підприємствах (ГЗП), на забезпечення надійності та довговічності споруд газопостачання, до зниження

ступеня задоволення споживачів об'ємами і якістю природного газу [1, 2].

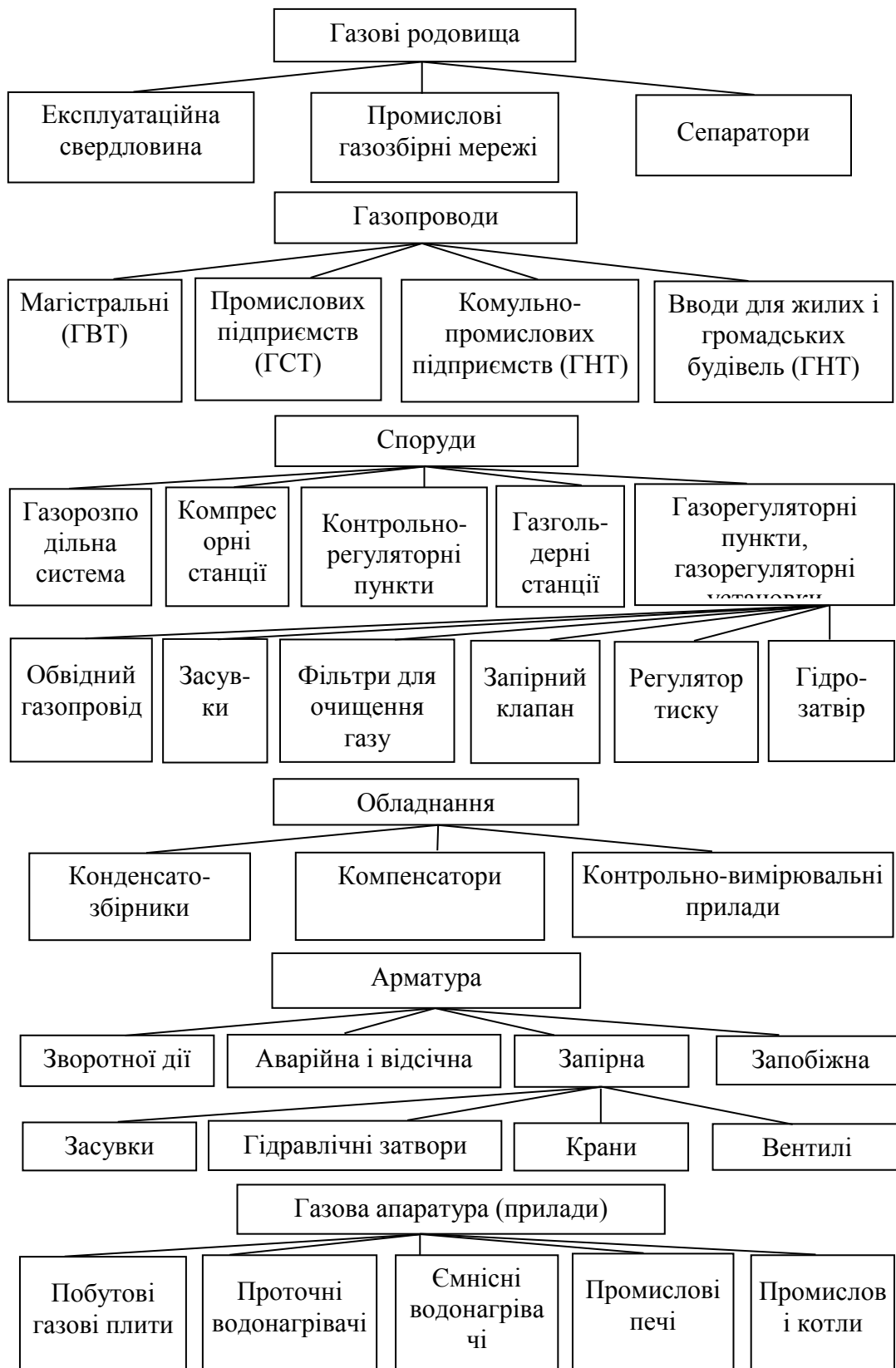


Рисунок 1.1 – Структурна схема системи газопостачання

Сучасні проблеми організаційно-технологічного та технічного забезпечення надійності та довговічності в будівельній галузі представлено в роботах таких вітчизняних фахівців: Д. Ф. Гончаренко, С. А. Ушацький, Р. Б. Тян, О. М. Лівінський, М. Ф. Друкований, В. О. Поколенко, С. Д. Бушуєв, О. Н. Зайцев, Ю. К. Росковшенко, І. І. Капцов, О. Ф. Редько, О. В. Лук'янов, М. В. Степанов, О. М. Склярєнко, Е. С. Малкін, А. М. Павленко, В. М. Желих, О. Т. Возняк [3–13].

Технічний стан розподільних газопроводів і споруд на них є основним показником, який характеризує безпечну та надійну їх експлуатацію. В зв'язку з цим особливо важливим є визначення технічного стану розподільних газопроводів, термін амортизації яких закінчився та які включені в план капітального ремонту. Також невисоку надійність мають газопроводи, на яких були витoki газу, розриви зварних з'єднань, наскрізні корозійні пошкодження та які експлуатуються з тривалою перервою роботи електрозахисних установок [14–16].

До основних критеріїв, що визначають технічний стан підземних газопроводів, відносяться: оцінка щільності; контроль стану захисного покриття; контроль стану металу труб; оцінка корозійної небезпеки; оцінка якості зварних стиків; наявність або відсутність електрохімічного захисту [17, 18].

Однією із найважливіших задач при будівництві і експлуатації трубопроводів стало забезпечення надійності їх функціонування. Для цього потрібне застосування максимально достовірних діагностичних рішень і видача обґрунтованого прогнозу дієздатності всієї системи.

Старіння споруд систем газопостачання ставить задачу попередження серйозних техногенних аварій і катастроф та вимагає введення систематичного моніторингу і діагностики трубопровідних систем.

Складність технологічних схем газотранспортних магістралей не дозволяє гарантовано оцінити стан їх елементів загальновідомими методами. Неточні і неадекватні відомості про реальний стан елементів системи транспорту газу створюють труднощі в обслуговуванні та експлуатації об'єктів, що характеризуються

значною протяжністю. Експлуатація лінійних ділянок в таких умовах веде до суттєвої перевитрати енергоносіїв та до зниження пропускної здатності газотранспортної системи, що особливо актуальне для економіки України на сучасному етапі.

Впровадження прогресивних технологій і сучасної техніки діагностування стану лінійних ділянок газопроводів слід віднести до першочергових заходів підвищення економічної ефективності і експлуатаційної надійності системи транспортування газу. До таких заходів належить використання «інтелектуальних поршнів» з метою одержання правдивої інформації про геометричні характеристики і корозійний стан трубопроводів [19]. Внутрішньотрубне діагностування з використанням так званого «інтелектуального поршня» дозволяє без зупинки роботи газопроводу провести діагностику стану металу труби магістрального газопроводу та виявити дефекти металу газопроводу різного походження. Своєчасне виявлення та усунення таких дефектів сприяє уникненню аварійних ситуацій на газопроводах, підвищує надійність газопроводів та забезпечує стабільне транспортування та забезпечення газом споживачів.

Для забезпечення вірогідності інформації про стан стінок трубопроводу, одержаної в процесі діагностування магістральних газопроводів, необхідно забезпечити рівномірний рух «інтелектуального поршня» з наперед заданою швидкістю [20]. Для створення таких умов слід виконати регулювання режиму роботи газоперекачувальних агрегатів на компресорних станціях в період руху поршня, тобто певним чином регулювати подачу газу в ділянку, що проходить обстеження. Це питання висвітлюється у дослідженнях Я. В. Грудза [21]. Недоліками роботи «інтелектуального поршня» в процесі діагностування магістральних газопроводів є те, що під час руху поршня по газопроводу виникають додаткові навантаження на трубу внаслідок дії інерційної сили на криволінійних ділянках трубопроводу. В результаті виникають амплітудні напруження в стінках трубопроводу з дефектами, що призводить до розкриття тріщин на ділянках трубопроводу та часткових або повних розривів труби [20].

Достатньо актуальною є проблема розроблення методів оперативного диспетчерського управління газорозподільною системою з використанням сучасних засобів математичного моделювання (з урахуванням стохастичного характеру процесів газопостачання) та можливостей прогресивних інформаційних технологій. Одними з таких новітніх технологій є геоінформаційні системи (ГІС). ГІС об'єднують сучасні інформаційні технології складання карт, проведення аналізу об'єктів і подій на місцевості та багатоаспектні автоматизовані інтегровані інформаційні системи з просторовою локалізацією даних. Інтеграція технологій дозволяє об'єднувати різні способи оброблення інформації ГІС в єдиний процес, що створює якісно нові технології. Одна з таких систем була запропонована С. Н. Кузнецовим [22]. Створення системи управління надійністю газорозподільних мереж базується на використанні вільнопоширюваною ГІС у поєднанні з модулями управління надійністю, які:

- оцінюють надійність газорозподільних мереж різних рівнів тиску;
- прогнозують потік неполадок газорозподільних мереж;
- прогнозують виконання заявок аварійно-диспетчерською службою.

Система управління надійністю газорозподільних мереж включає:

- топографічну основу – цифрову карту міста;
- технологічну частину – газорозподільну мережу з даними газопроводів та устаткування.

Геоінформаційна система дозволяє об'єднати в єдиний комплекс інформацію про проектування, будівництво і експлуатацію газорозподільних мереж, методи визначення показників надійності газорозподільних мереж за результатами експлуатації, прогнозування несправностей та аварійних заявок на обслуговування газорозподільних мереж, моделювання виконання аварійних заявок на ремонт газопроводів.

Темою низки вітчизняних наукових робіт стало дослідження надійності інженерних мереж водопостачання та водовідведення, які також є спорудами, що потребують забезпечення експлуатаційної надійності та довговічності [23–26]. Розроблення орієнтованих на

конкретний результат систем комплексного проектування та управління проектами трубопроводів водопостачання і водовідведення з оптимізацією проектних рішень за критеріями експлуатаційної надійності і комплексної технологічності та управління змінами рішень при їхньому здійсненні стали темою дисертаційних робіт О. М. Меженського та І. В. Корінько [23, 24]. Також в дослідженнях [25, 26] розглядаються питання довговічності колекторів. Конкретні технічні рішення і методи, які використані для підвищення надійності мереж водопостачання і водовідведення, розглядаються в роботах [27–30]. Істотний вклад в підвищення надійності систем водопостачання і каналізації може забезпечити автоматизація управління ними [31–33].

Особливості сучасних технологій ремонту і відновлення інженерних мереж водопостачання і водовідведення викладені в роботах І. В. Кожінова і Д. Ф. Гончаренко, І. В. Корінько [34, 35]. У статті [34] на підставі аналізу стану інженерних комунікацій робиться висновок про необхідність створення науково-технічної програми, яка повинна забезпечити розроблення практичних рекомендацій, технічних умов, регламентів, технологій і устаткування для реновації трубопроводів і підвищення їх надійності. У програмі передбачаються три напрямки наукових досліджень і дослідно-конструкторських робіт: стабілізації інженерних мереж, що діють; реконструкція і реновація інженерних мереж та підвищення ефективності функціонування інженерних мереж. Згідно з оцінками автора [34] вартість ремонтно-відновлюваних робіт на трубопроводах, що виконуються із застосуванням нових технологій значно нижче, ніж при використанні традиційних технологій.

У монографії [35] розглянуто проблеми ремонту і відновлення каналізаційних мереж і споруд. У ній представлено опис всіх традиційних способів і технологій очищення каналізаційних мереж, проведення їх обстежень і виконання поточних і капітальних ремонтів. В монографії наведені конструкційні та технологічні рішення, які забезпечують підвищення надійності трубопроводів і мережевих споруд. Питання технологічності в монографії не аналізуються.



Огляд технічних досягнень в області реконструкції і відновлення трубопровідних систем за останні роки в зарубіжних країнах наведено в роботах [36–40]. Вирішення проблеми відновлення і реконструкції трубопроводів бачиться в широкому використанні безтраншейних технологій із застосуванням спеціального устаткування. У передовій зарубіжній практиці 95 % об'єму робіт з прокладання та реконструкції підземних комунікацій виконуються безтраншейним способом. Необхідно відмітити, що в Європі постійно зростає число об'єктів, де вживання різних методів безтраншейної технології ремонту і прокладання комунікацій знаходить своє місце.

Сучасна безтраншейна технологія обслуговування трубопроводів включає: діагностику стану трубопроводів методом телеінспекції, локальний ремонт трубопроводів роботами і прочищення трубопроводів за допомогою роботизованого устаткування. Безтраншейна технологія відновлення трубопроводів забезпечує нанесення оболонок на внутрішні поверхні трубопроводів, герметизацію оглядових колодязів, а також руйнування старих трубопроводів в місцях їх розташування і заміну їх новими.

Основним напрямком відновлення трубопроводів на сьогодні є нанесення захисних покриттів на внутрішні їх поверхні, які заздалегідь піддаються очищенню. Найбільш поширеними типами покриттів, що наносяться, є оболонки з: цементно-піщаних сумішей, епоксидних смол, поліетилену, поліуретану, бітумної мастики та ін. Для нанесення кожного з перерахованих типів покриттів розроблені спеціальні технології і відповідне технологічне устаткування і пристосування [36, с. 14–21]. Кожен тип покриття має свої переваги і недоліки.

Питання обстежень і технічної діагностики стану трубопроводів та інженерних мереж при їх реконструкції розглядаються у низці робіт вітчизняних і зарубіжних авторів [41–45]. Нормативні вимоги, які повинні дотримуватися в Україні при обстеженні зовнішніх мереж газопостачання визначені «Порядком технічного огляду, обстеження, оцінки та паспортизації технічного стану, здійснення запобіжних заходів для безаварійного експлуатування систем газопостачання» [41].

Аналіз сучасного стану наукових розробок та практичного досвіду забезпечення експлуатаційної надійності та довговічності споруд інженерних мереж свідчить, що кожний з них має свої переваги і недоліки. Тому зіставлення і вибір технологічних способів для виконання трубопровідних робіт, особливо в системах газопостачання, повинні здійснюватися з врахуванням конкретних умов і потенційної ефективності як будівництва, так і експлуатації трубопроводу, тобто на підставі факторів технологічності і надійності.

## **1.2 Чинники організаційно-технологічного забезпечення довговічності та надійності споруд систем газопостачання**

Інтенсивне старіння трубопровідних газорозподільних систем диктує необхідність їх реконструкції. Практично єдиним кардинальним засобом, що забезпечує розв'язання задачі підтримки високонадійного і ефективного транспорту газу, стає перехід на нову ресурсозберігаючу систему обслуговування «за станом». Це обумовлюється необхідність розроблення теоретичних методів і практичних рекомендацій з оцінювання технічного стану тривало експлуатованих газопроводів для забезпечення їх надійності та довговічності з дефектами, які є визначальними чинниками при визначенні програми оцінювання. Тому визначення таких чинників є актуальним питанням.

В роботі А. Ф. Краснікова наведена класифікація дефектів металу трубопроводу [46]. На основі класифікації дефектів з позиції ремонтпридатності, аналізу сучасних технологій відновлювальних робіт та кількісної оцінки факторів, що впливають на рівень допустимих напружень в металі стінки труби при ремонті, було запропоновано математичну модель розрахунку напружено-деформованого стану трубопроводу при реалізації різних технологій ремонтних робіт. На основі аналізу стану магістральних трубопроводів зроблено висновок, що технічний стан трубопроводів різного терміну експлуатації неоднозначний і потребує індивідуальної оцінки з врахуванням кількісної інформації про дефекти труби, які

підрозділяються на дефекти геометрії, дефекти стінки та зварного шва, комбіновані дефекти, недопустимі конструктивні елементи. Враховуючи різноманіття дефектів, для розв'язання цієї задачі пошкодження класифіковані з позиції ремонтпридатності. При цьому враховано, що не всі дефекти можуть призвести до руйнування труби, а лише небезпечні, відношення яких до загального числа пошкоджень наведено в табл. 1.1.

В залежності від умов експлуатації одні і ті ж самі дефекти, можуть бути небезпечними та безпечними. З цієї точки зору, існуючі методики оцінки дефектів являються консервативними і рекомендують завищенні об'єми ремонтних робіт.

Таблиця 1.1 – Статистика небезпечних дефектів [46]

Дефекти	Число небезпечних дефектів, %
Корозія (втрати металу)	42,8–59,2
Розшарування	24,6–47,1
Розшарування з виходом на поверхню	1,5–2,6
Розшарування в навколошовній зоні	6,2–7,7
Ризики	1,3–7,0

Небезпечними є дефекти, спричинені корозією металу, щільність яких збільшена в областях нижче горизонтального діаметра труби через сповзання плівки при засипанні та ущільненні ґрунту, які примикають до зварного шва, геометричне посилення якого сприяє нещільному приляганню ізоляційного покриття. На таких дефектах від зварних з'єднань часто розповсюджуються тріщини. Після розкриття та обстеження дефектної ділянки труби з наступним її засипанням небезпечним стає поєднання гофри та кільцевого зварного шва через додаткові осьові напруження при усадці, які не контролюються.

Всі газопроводи і споруди на них, які перебувають в експлуатації, а також ті, які з будь-якої причини тимчасово не експлуатуються, повинні незалежно від строку експлуатації та інших показників підлягати обстеженню з метою оцінки їх технічного стану, прийняття обґрунтованих рішень із забезпечення надійної та безпечної

подальшої їх експлуатації [47, 48]. Залишковий ресурс і безпечна експлуатація – категорії взаємозалежні і взаємодоповняльні. Технічний стан газопроводу не може бути визначено яким-небудь одним методом діагностики, оскільки він характеризується комплексним показником, що включає стан металу та ізоляційного покриття, корозійний стан, стан зварних швів, терміну і умов експлуатації [49].

Причин, що викликають витіки газу на підземних газопроводах, декілька. Це, по-перше, електрохімічна корозія металу труб в тих місцях, де газопроводи знаходяться в анодній зоні і де існують пошкодження ізоляційного покриття газопроводу [50]. Пошкодження ізоляційного покриття можуть виникнути:

- при будівництві – від механічних пошкоджень, при транспортуванні й монтажі газопроводів або при неякісному підготовленні подушки під трубопровід;

- у процесі експлуатації внаслідок механічного і хімічного впливу ґрунту, ґрунтових вод, а також дефектів ізоляції, пов'язаних з порушенням технології при виготовленні й нанесенні ізоляційного покриття (відсутність адгезії при порушенні технологічних режимів або неякісного очищення поверхні труби, порушень технології приготування мастики та ін.).

Причиною, що викликає витіки газу, є незадовільна якість зварювальних робіт. У результаті температурних напружень і динамічних навантажень відбувається розрив на підземних газопроводах, які неякісно зварені. Покладений у ґрунті газопровід піддається впливу зовнішніх сил, що викликають додаткові напруження в тілі труби, особливо в місцях стикових з'єднань. Механізм впливу зовнішніх факторів на газопровід дуже складний і не дозволяє однозначно визначити навантаження на трубу, а високий ступінь випадкових збігів впливу зовнішніх факторів може призвести до виникнення напружень у тілі труби або звареному стику, що викликає руйнування [51, 52].

До зовнішніх впливів на газопровід, що мають випадковий характер, відносяться: прогин газопроводу при осіданні ґрунту, температурні напруження, що виникають у зимово-весняний період,

пучнистість ґрунтів, що викликає вигин газопроводу на прямолінійних ділянках і крутіння на поворотах. Механічні пошкодження підземних газопроводів при виконанні земляних робіт механізмами поблизу газових мереж також зменшують їх надійність [53].

За умовами експлуатації трубопровід, як правило, сприймає одночасну дію механічних навантажень (деформацій), зносу і корозійно-активних середовищ. Така спільна дія викликає прискорене корозійно-механічне руйнування трубопроводів у вигляді загальної механохімічної корозії, корозійного розтріскування, корозійної втоми, які значно інтенсифікуються під впливом полів блукаючих струмів [54–58].

Основним критерієм, який визначає технічний стан сталевих газопроводів, є його герметичність [49]. Використання дистанційних методів дослідження герметичності газопроводів найбільш ефективно тому, що цими методами можуть бути виявлені витoki з малими дебітами, тобто на ранній стадії руйнації останніх і усуненні з мінімальними матеріальними втратами. Методика дистанційного виявлення витоків газу із підземного газопроводу наведена у роботі В. І. Холодова [59]. Суть методу полягає в одночасному виявленні температурної аномалії, що створена на поверхні ґрунту витокком газу з підземного газопроводу та хмари метану в приземному шарі повітря, апаратурним комплексом. Для розроблення методики дистанційного виявлення витоків газу виконано математичне та фізичне моделювання. При математичному та фізичному моделюванні проведені розрахунки температурного поля на поверхні ґрунту при неперушеному стані герметичності газопроводу та при наявності витoku газу.

Московською компанією «Пергам» був створений комплекс для визначення витоків з магістральних газопроводів і їх локалізації [60]. Його робота ґрунтується на методі лазерно-тепловізійного контролю. Компанія «Пергам» проводить дистанційні обстеження трубопроводів на землі та з повітря. Останній варіант найбільш зручний при великій протяжності трубопроводу. В результаті обстеження виявляються місця витоків газу різного об'єму практично при різних глибинах

залигання трубопроводу. Система лазерно-тепловізійного контролю дозволяє оперативно визначити наявність витоків газу та її місце розташування. Суть методу в наступному. При виникненні витоків газу в трубопроводі температура продукту, що вийшов на поверхню, різко падає за рахунок ефекту Джоуля–Томпсона. Виникає температурна аномалія досить правильної форми, що відрізняється на декілька градусів від середньої температури поверхні землі, яку легко знайти за допомогою тепловізора з градацією по температурі близько  $0,1^{\circ}$ . За наслідками обстеження і подальшого оброблення інформації робиться висновок про технічний стан об'єкта з прив'язкою знайдених дефектів до місцевості. Достовірність діагностики трубопроводів може бути підвищена шляхом використання інформації, одержуваної за допомогою методу газового аналізу. Виникнення мікросвищів і витоків в трубопроводах супроводжується виходом перекачаного середовища в атмосферу. Використовуючи дистанційний лазерний детектор метану «ДЛС Пергам», можна визначити концентрацію газів, що викидаються, дистанційно, виключаючи при цьому необхідність застосування додаткових приладів. Цей високочутливий метод дозволяє визначити наднизькі концентрації газу у області розташування невеликих витоків (мікросвищів). Використання цих методів (тепловізійного і дистанційного газового аналізу) і відповідних програмно-технічних засобів дозволяє знаходити несприятливі ділянки трубопроводів, різного роду витоків, а також виконувати архівацію результатів обстеження для подальшого аналізу і документування.

У роботі В. І. Шелудченка представлено радіометр-газоаналізатор для діагностування наявності метану в повітрі [61]. Радіометр здійснює селекцію смуги поглинання–випромінювання метану в області  $3000\text{ см}^{-1}$  на фоні перешкод: атмосферних газів і джерел теплового випромінювання (грунту, рослинності тощо). Радіометр автоматично оглядає смугу ґрунту, яка дорівнює ширині траншеї з газопроводом, під кутом  $10\text{--}20^{\circ}$  піднесення до обр'їю. Для встановлення факту витоків газу немає необхідності в традиційному відбиранні проб. Прилад відрізняють простота виконання і використання, мобільність, можливість швидкого і надійного

виявлення витoku газу, у тому числі у місцях, що важкодоступні для пересувних лабораторій.

Оцінити технічний стан трубопроводів дозволяє комплексний підхід, однією з важливих складових якого є визначення напруженого стану труби, зокрема, в місцях із дефектами та в зварних з'єднаннях, з якими пов'язано 70–80 % усіх відмов магістральних газопроводів [61]. Особливо це стосується зварних кільцевих швів, які після зварювання, як правило, додатково не обробляються, щоб зменшити залишкові напруження. Наявність дефектів у біляшовній зоні труби в процесі експлуатації може призвести до передчасного руйнування трубопроводу. Однією з причин виникнення їх у металі труб і зварних з'єднаннях є корозія. Поверхневі дефекти, викликані корозією або іншими причинами, є типовими ушкодженнями трубопроводів. Вони як концентратори напружень можуть істотно впливати на надійність та довговічність газопроводу. Аналіз на основі критеріїв механіки руйнування показує, що в високов'язких пластичних трубних сталях можуть стабільно існувати достатньо великі докритичні тріщини, що не розвиваються. Однак практика експлуатації трубопроводів свідчить, що в складних умовах, навіть коли нормативні експлуатаційні напруження не перевищені, дефекти в стінці труби розвиваються і, досягнувши критичних розмірів, можуть викликати аварійні ситуації. Розвиток дефектів залежить від додаткових напружень, що спричинені різними зовнішніми та внутрішніми чинниками, зокрема, залишковими технологічними деформаціями.

Результати аналізу стану наукових розробок та практичного досвіду дозволи окреслити основні чинники, що впливають на організаційно-технологічне забезпечення надійності та довговічності споруд систем газопостачання. Такими основними факторами, що визначають технічний стан сталевих підземних газопроводів та передбачають їх безперебійну роботу, є: контроль стану антикорозійного ізоляційного захисного покриття; контроль стану металу труб; оцінка корозійної небезпеки; оцінка якості зварних стиків; наявність або відсутність установок електрохімічного захисту; герметичність та міцність труб. З врахуванням виявлених чинників можливе й необхідне розроблення математичних моделей для

комплексного оцінювання та прогнозування організаційно-технологічного забезпечення надійності трубопровідної системи газопостачання.

### **1.3 Методи й моделі оцінювання та прогнозування організаційно-технологічного забезпечення технічного стану й надійності інженерних мереж систем газопостачання**

Газорозподільною системою відповідно до принципів соціотехнічного моделювання є сукупність взаємопов'язаних елементів, які використовуються для цілеспрямованої зміни її стану і властивостей. Сучасний стан науки і техніки не дозволяє при прийнятних витратах на проектування і будівництво створювати газорозподільні системи, які б не вимагали проведення робіт з технічного обслуговування і ремонту в процесі експлуатації. Крім того, не виключена можливість аварій та виникнення ушкоджень, для усунення яких необхідні ремонтні роботи. Тому однією з основних вимог до газорозподільних систем є їх ремонтоздатність, тобто властивість, що дозволяє пристосуватися до попередження та виявлення причин виникнення відмов, ушкоджень і усунення їхніх наслідків шляхом проведення ремонтів і технічного обслуговування [62].

Ремонтоздатну технічну газорозподільну систему можна визначити як технічну систему з тривалим життєвим циклом, у якій дефекти, що виникли в процесі експлуатації і які перешкоджають нормальному виконанню обумовлених функцій, можуть бути усунуті шляхом реалізації проектів ремонту, оцінювання або прогнозування технічного стану, які створюються після проведення детального технічного діагностування. Правильне створення та управління такими проектами забезпечує надійність та довговічність інженерних мереж систем газопостачання [63–66].

Особливе значення для надійності лінійної частини трубопровідних систем має оцінювання їхнього стану на стадії експлуатації. Тут важливу роль відіграє технічне діагностування як ефективний засіб прогнозування, оцінки та запобігання аварійних ситуацій, а також екологічного захисту й забезпечення промислової



безпеки. Сучасні методи забезпечення надійної експлуатації інженерних мереж систем газопостачання ґрунтуються, як правило, на своєчасному виявленні дефектів, які виникли та розвиваються з тих чи інших причин, та прогнозуванні залишкового ресурсу з урахуванням таких дефектів.

Питання оцінки ґрунтових умов експлуатації лінійної частини газотранспортної системи за показником рН-середовища, електропровідністю ґрунту й вмістом сульфатіонів, що дало змогу оцінити можливість створення умов для розвитку корозійних процесів на ділянках газопроводу, висвітлено в статті [67]. Також наведено залежність для оцінювання швидкості корозійних процесів на поверхні ділянки газопроводу і рекомендовано використання комплексного методу досліджень впливу зовнішнього середовища на протікання корозійних процесів на ділянках газопроводів із застосуванням математичного моделювання.

В Росії розроблений та впроваджується на практиці метод діагностики устаткування і конструкцій, заснований на використуванні магнітної пам'яті металу (МПМ) [68, 69]. Магнітна пам'ять металу – післядія, яка виявляється у вигляді залишкової намагніченості металу виробів і зварних з'єднань, що сформувалася в процесі їх виготовлення і охолодження в незначному магнітному полі або у вигляді незворотної зміни намагніченості виробів в зонах концентрації напруг і пошкоджень від робочих навантажень. Унікальність методу магнітної пам'яті металу полягає у тому, що він заснований на використанні ефекту виникнення високої намагніченості металу в зонах великих деформацій металу елементів конструкцій, обумовлених дією робочих навантажень. Причиною аномально високого намагнічення окремих ділянок труб є магнітопружний ефект.

Стальні трубопроводи – морально і технічно довго нестаріючі споруди. Термін їх служби і надійність в експлуатації визначається головним чином ступенем захисту від корозійних руйнувань. Розробленню ефективних методів і засобів попередження і пригнічення корозії цих споруд сьогодні приділяється велика увага [70–74].

Використання методів електрохімічної дії для зниження внутрішньої корозії як варіанта протекторного захисту з використанням іонного зв'язку між електродами дозволяє формувати захисну пасивну плівку, яка блокує доступ електроліту до поверхні трубопроводу [75].

У роботі Ю. В. Банахевича розглянуто варіант розвитку розрахунково-експериментального методу визначення залишкових напружень навколо зварних швів для випадку, щоб можна було врахувати неоднорідність напруженого стану під давачами вимірювальних приладів та структурні перетворення в зоні термічного впливу [76].

Для якісного та ефективного функціонування системи газопостачання міста О. В. Поповим розроблено стохастичну модель і метод оптимізації стаціонарного режиму транспорту і розподілу природного газу [77]. За запропонованою методикою створено геоінформаційну аналітичну систему управління міським газовим господарством. Система включає: розроблення принципів побудови та складу єдиного інформаційного простору; дослідження і розроблення моделей території міста для цілей управління ресурсами газу; дослідження і розроблення схеми функціональної структури газової мережі міста та орієнтовного переліку функціональних задач газового господарства, що підлягають автоматизації.

Проблема проектування і розроблення регіональної автоматизованої системи управління об'єктами газопостачання (РАСУ ОГ) висвітлена у роботі І. А. Божинського [78]. Було запропоновано метод розроблення елементів автоматизованої системи управління багаторівневою, багатозв'язковою системою газопостачання області, який відрізняється від існуючих використанням сучасних геоінформаційних технологій: єдиної бази даних з просторовим сервером, засобів проектування геобаз даних для використання при клієнт-серверному обробленні інформації та ін. Розроблено основні технічні рішення щодо побудови просторово-розподіленої, багаторівневої геоінформаційної системи (ГІС) газозбутового підприємства з детальним опрацюванням підсистеми оперативно-диспетчерського управління. Запропоновано основні

етапи розроблення РАСУ ОГ області, які включають:

- етап обстеження об'єкта автоматизації та інформаційного планування (організаційна структура, визначення основних бізнес-процесів, моделювання предметної галузі, визначення порядку розроблення системи);

- етап аналізу зовнішньої та внутрішньої інформаційної взаємодії об'єкта автоматизації та його основних бізнес-процесів (побудова інформаційних та функціональних моделей процесів);

- етап логічного проектування РАСУ ОГ (визначення загальносистемних вимог, систематизація та класифікація об'єктів предметної галузі, розроблення логічної структури даних, вибір масштабного ряду картографічного забезпечення геоінформаційної системи);

- етап фізичного проектування (вибір базового інструментального програмного забезпечення, технічних засобів, розроблення архітектури РАСУ ОГ).

Аналіз основних бізнес-процесів регіональних систем газопостачання на рівні головного підприємства, філії та ділянки газопостачання дозволив поставити їм у відповідність функціональні комплекси задач, що забезпечують експлуатаційну надійність та довговічність споруд зовнішніх газорозподільних систем.

С. О. Скляровим представлено метод визначення місць і розмірів пошкодження ізоляційного покриття на основі даних вимірювань різниці потенціалів «труба–земля» і поперечних градієнтів потенціалів «земля–земля», що отримуються при проведенні корозійних обстежень контактним методом [79]. Метод використовується при розв'язанні задач діагностики корозійного стану трубопроводу в підсистемі планування ремонтно-відновлюваних робіт. Цей метод був отриманий на основі моделі розподілу захисної різниці потенціалів «труба–земля» з врахуванням впливу протяжливих анодних заземлень і постійним коефіцієнтом затухання. Модель використовується при відсутності даних вимірювань різниці потенціалів «труба–земля», але відомі такі характеристики, як глибина закладання трубопроводу, геометрія анодних заземлень, товщина стінки труби, діаметр труби, середній

перехідний опір ізоляції, питомий опір ґрунтів вздовж трубопроводу та поблизу анодів. Різниця потенціалів «труба–земля» складається з двох складових – позитивного потенціалу ґрунту  $\phi_G$ , що створюється електричним полем анодних заземлювачів, та негативного потенціалу поверхні труби  $\phi_T$ , що виникає за рахунок протікання катодного току вздовж трубопроводу.

Моделювання процесів трубопровідного транспортування газу як першооснови реалізації принципів оцінювання та підвищення ефективності функціонування систем магістральних газопроводів висвітлено у роботі А. А. Рудніка [80]. Для лінійних ділянок магістральних газопроводів система розрахункових моделей структурована у вигляді рівняння розподілу потенційної роботи та інтегрованого рівняння зовнішнього і внутрішнього теплообміну реального газу. Рівняння достовірне за умови, що масова швидкість газу  $u$  в будь-якому перерізі трубопроводу є незмінною, тобто

$$u = (w \cdot \rho) = M / F = idem, \quad (1.1)$$

де  $w$  – лінійна швидкість газу;  $\rho$  – густина газу;  $M$  – масова витрата газу через площу перерізу  $F$ .

Через наявність безпосередніх матеріальних зв'язків між окремими технологічними елементами магістральних газопроводів та розширенням параметричного простору їх функціонування принципово новою постає проблема обґрунтування вибору математичної моделі залежності тиску ( $P$ ) від температури ( $T$ ) газового стану  $f(P, T)$ . Нормована в доринковий період будівництва надпотужних магістралей залежність  $P/\rho = zRT$  у графоаналітичному варіанті через її наближений характер та неадекватність комп'ютерних технологій розрахунків не відповідає сучасним вимогам щодо стратегії моделювання режимів роботи магістральних газопроводів. Пропоновані модифікації математичного відтворення функції газового стану за допомогою напівемпіричних рівнянь Бенедикта–Вебба–Рубіна, Бертло через складність формульних залежностей і необхідність уточнення емпіричних констант також не знайшли подальшого повсюдного застосування. Іншим чинником загострення проблеми вибору рівняння газового стану в умовах

непроектних режимів роботи газопроводів є необхідність уніфікації рівняння газового стану для всіх елементних об'єктів систем газопостачання.

Існуючі нормативні документи та методики оцінки та діагностики технічного стану систем газопостачання [41, 45–49, 52, 70], які регламентують порядок проведення розрахунків на стійкість, міцність та прогнозування довговічності, не відповідають сучасному рівню розвитку наукових знань. Вони не систематизовані за критеріальними ознаками та не передбачають можливості врахування різного роду факторів впливу.

У зв'язку із різким скороченням будівництва нових газопроводів, збільшенням терміну та технічно недосконалими умовами експлуатації діючих, їх недостатнього рівня надійності у газовій галузі гостро стоїть питання діагностики технічного стану газопроводів. Існуючі методи оцінювання та контролю технічного стану систем газопостачання потребують модифікації та удосконалення. Не існує обґрунтованої моделі інтелектуальної підтримки прийняття рішень щодо оцінювання технічного стану складових елементів систем газопостачання з великим вибором режимів роботи з виявлення дефектів різного походження та отримання супутньої інформації, яка непередбачена для аналізу та розрахунків за діючими нормативами. Тому розроблення методології організації прийняття управлінських рішень під час проведення моніторингу технічного стану зовнішніх газорозподільних мереж з врахуванням кількісних та якісних збуджувальних факторів, які впливають на їх надійність та довговічність при оптимальному використанні матеріальних, трудових та фінансово-економічних ресурсів, є актуальним питанням та потребує дослідження.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Брюханов О. Н. Газоснабжение : учеб. пособ. для студ. высш. учеб. заведений / О. Брюханов, В. Жила, А. Плужников. – М. : Академия, 2008. – 265 с.
2. Энциклопедия газовой промышленности. 4-е изд.; пер. с франц.; Ред. пер. К. С. Басниев. – М. : Акционерное общество «Твант», 1994. – 884 с.
3. Гончаренко Д. Ф. Эксплуатация, ремонт и восстановление сетей водоотведения : монография. / Д. Ф. Гончаренко. – Х. : Консум, 2008. – 400 с.
4. Організація будівництва : підручник для студ. вищих навч. закл. / [С. А. Ушацький, Ю. П. Шейко, Г. М. Тригер і ін.]. – К. : Кондор, 2007. – 521 с.
5. Тянь Р. Б. Управління проектами у виробничих системах: монографія / Р. Б. Тянь, І. Д. Павлов, О. І. Головкова. – Запоріжжя : ЗІДМУ, 2006. – 207 с.
6. Вступ до будівельної справи : навч. посіб. / [В. І. Терновий, О. М. Лівінський, С. А. Ушацький і ін.]. – К. : Укр. акад. наук «МП Леся», 2007. – 336 с.
7. Інноваційні концептуальні та формально-аналітичні інструменти обґрунтування, підготовки та впровадження будівельних інвестиційних проектів: монографія / [С. А. Ушацький, В. О. Поколенко, О. А. Тугай і ін.]; під ред. В. О. Поколенка. – К. : Вид-во Європейського університету, 2008. – 208 с.
8. Креативные технологии управления проектами и программами : моногр. / [С. Д. Бушуев, Н. С. Бушуева, И. А. Бабаев и др.] – К. : Саммит-Книга, 2010. – 768 с.
9. Степанов М. В. Теплогазопостачання і вентиляція : навч. посібник / М. В. Степанов, Ю. К. Росковшенко. – К. : КНУБА, 2008. – 255 с. – ISBN 978-966-627-142-9.
10. Ткаченко В. А. Газопостачання: підручник / В. А. Ткаченко, О. М. Склярєнко – К. : ІВНВКП «Укреліоткех», 2012. – 588 с.

11. Возняк О. Т. Основи наукових досліджень у будівництві: навч. посібник / О. Т. Возняк, В. М. Желих. – Л. : Вид-во Національного університету Львівська політехніка, 2003. – 176 с.

12. Капцов И. И. Сокращение потерь газа по магистральных газопроводах / И. И. Капцов. – М. : Недра, 1988. – 160 с.

13. Масловский В. В. Основы технологии ремонта газового оборудования и трубопроводных систем: учеб. пособ. / В. В. Масловский, И. И. Капцов, И. В. Сокуро. – М. : Высшая школа, 2004. – 319 с.

14. Кязимов К. Г. Основы газового хозяйства / К. Кязимов, В. Гусев. – М. : Высшая школа, 2000. – 465 с.

15. Жила В. А. Газовые сети и установки / В. А. Жила, М. А. Ушаков, О. Н. Брюханов. – М. : Академия, 2003. – 272 с.

16. Гольянов А. И. Газовые сети и газохранилища / А. Гольянов. – Уфа : ООО «Издательство научно-технической литературы «Монография»», 2004. – 303 с.

17. Котляр И. Я. Эксплуатация магистральных газопроводов / И. Котляр, В. Пиляк. – Л. : Недра, 1971. – 248 с.

18. Ратушняк Г. С. Експлуатація зовнішніх газопроводів і споруд систем газопостачання : навч. посіб. / Г. С. Ратушняк, Г. С. Попова. – Вінниця : ВДТУ, 2001. – 94 с.

19. Власенко С. А. За десять місяців поточного року ДК «Укртрансгаз» провела внутрішньотрубну діагностику 2075 км магистральних газопроводів / С. А. Власенко // Електронні вісті. – 2006. – № 11. – С. 19.

20. Дорошенко Я. В. / Математичне моделювання руху поршня по магистральному газопроводу з аварійним витокм газу / Я. В. Дорошенко // Коммунальное хозяйство городов. – 2005. – № 63. – С. 250–254.

21. Грудз Я. В. Розробка методів регулювання режиму роботи газопроводів в процесі їх діагностування інтелектуальними поршнями: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: 05.15.13 «Нафтогазопроводи, бази та сховища» / Грудз Ярослав Владимирович; Ів.-Фран. ун-тет нафти і газу. – Івано-Франківськ, 2002. – 13 с.

22. Кузнецов С. Н. Развитие теории систем теплогасоснабжения и вентиляции на основе информационных технологий: автореф. дис. на соскание уч. степени докт. техн. наук: 05.23.03 «Теплоснабжение, вентиляция, кондиционирование воздуха, газоснабжение и освещение» / Кузнецов Сергей Николаевич; Воронежский государственный архитектурно-строительный университет. – Воронеж, 2011. – 36 с.

23. Корінько І. В. Наукове обґрунтування та розробка організаційно-технологічних рішень, що підвищують експлуатаційну довговічність систем водовідведення: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня докт. техн. наук: 05.23.08 «Технологія і організація промислового та цивільного будівництва» / Корінько Іван Васильович; Харк. держ. техн. ун-тет. буд. та арх. – Харків, 2004. – 26 с.

24. Меженський О. М. Методи організаційно-технологічного проектування зовнішніх мереж трубопроводів з урахуванням параметрів надійності і технологічності: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: 05.23.08 «Технологія і організація промислового та цивільного будівництва» / Меженський Олександр Миколайович; Донб. нац. акад. буд. та арх. – Дніпропетровськ, 2005. – 25 с.

25. Абрамович И. А. О сроке службы коллекторов городской канализации / И. А. Абрамович // Міське господарство України. – 1998. – № 4. – С. 42–43.

26. Иванов Ф. М. О сроках службы железобетонных коллекторов / Ф. М. Иванов, Г. Я. Дрозд // Бетон и железобетон. – 1992. – № 2. – С. 23–24.

27. Дрозд Г. Я. Надёжность канализационных сетей / Г. Я. Дрозд // Водоснабжение и санитарная техника. – 1995. – № 10. – С. 2–4.

28. Жуков Н. Н. Проблемы водоснабжения населения в Российской Федерации и пути их решения / Н. Н. Жуков // Водоснабжение и санитарная техника. - 1998. – № 4. – С. 17–19.

29. Найманов А. Я. Защита от коррозии систем коммунального хозяйства / А. Я. Найманов, Н. И. Зотов, В. Н. Маслак. – Донецк : ИЭП НАН Украины, 2001. – 80 с.

30. Зима Н. Альтернативные методы технического обслуживания и



ремонта канализационных систем / Н. Зима // Буд Майстер. – 1999. – № 5. – С. 10–11.

31. Форкун І. В. Оперативне оптимальне управління інженерними комунікаціями в умовах їх стохастичної дестабілізації: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: 05.13.07 «Автоматизація технологічних процесів» / Форкун Ірина Валеріївна; Київ. нац. ун-тет. буд. та арх. – Київ, 2000. – 18 с.

32. Автоматизация и управление системами водоснабжения и водоотведения : сб. науч. тр. / ВНИИ водоснабжения, канализации, гидротехники. – М. : ВНИИ ВОДГЕО, 1986. – 116 с.

33. Попкович Г. С. Автоматизация систем водоснабжения и водоотведения : учебн. пособ. / Г. С. Попкович, М. А. Гордеев. – М. : Высш. шк., 1986. – 391 с.

34. Кожинов И. В. Технологии по восстановлению инженерных сетей и коммуникаций городского хозяйства / И. В. Кожинов. – М. : ВНИИ НТП И, РАСЭ-V. 1998. – С. 343–351.

35. Гончаренко Д. Ф. Ремонт и восстановление канализационных сетей и сооружений / Д. Ф. Гончаренко, И. В. Коринько. – Харьков : Издательство «Рубикон», 1999. – 368 с.

36. Бестраншейная технология обновления и техническое обслуживание водопроводных и водоотводящих сетей. Обзорная информация. – Серия «Инженерное обеспечение объектов строительства». Вып. 1 / ВНИИ НТП И Госстроя России. – М., 1999. – 46 с.

37. Храменков С. В. Бестраншейные методы восстановления трубопроводов / С. В. Храменков, О. Г. Примин, В. А. Орлов. – М. : Прима-Пресс. М., 2002. – С. 283.

38. Агапчев В. И. Восстановление изношенных трубопроводов путем введения в них пластмассовых труб. Прикладная синергетика и проблемы безопасности / В. И. Агапчев, Н. Г. Премьяков // Сборник научных трудов / Редкол.: Р. Г. Шарафеев и др. – Уфа : ГУП «Уф. полиграфкомбинат», 2003. – С. 43–47.

39. Ладыгин И. В. Есть ли бестраншейные технологии в России / И. В. Ладыгин // Трубопроводы и экология. – 2001. – № 4. – С. 25–28.

40. Фаттахов М. М. Совершенствование бестраншейной технологии восстановления (реконструкции) трубопроводных систем / М. М. Фаттахов // Трубопроводы и экология. – 2002. – № 5. – С. 27–31.

41. Порядок технічного огляду, обстеження, оцінки та паспортизації технічного стану, здійснення запобіжних заходів для безаварійного експлуатування систем газопостачання 24.10.11; наказ № 640. – Офіц. вид. – К., 2011 р. – 130 с.

42. Тазетдинов Г. М. Техническая диагностика состояния трубопроводов / Г. М. Тазетдинов // ВСТ. – 1998. – № 10. – 24 с.

43. Штопоров В. Н. Модернизация, диагностика, ремонт трубопроводов методом санации и пневмопробойника / В. Н. Штопоров // ВСТ. – 1999. – № 1. – 23 с.

44. Исследование сетей, аппаратов и сооружений водоснабжения и канализации : межвуз. сб. – Казань : Каз ИСИ, 1990. – 76 с.

45. Куклев А. К вопросу о выборе оборудования для съёмки подземных коммуникаций / А. Куклев, А. Бродовой // Стройка. – 1999. – № 42. – С. 137–139.

46. Красников А. Ф. Разработка методики оценки эксплуатационной надежности локальных участков трубопровода после ремонта: автореф. дис. на соскание уч. степени канд. техн. наук: 25.00.19 «Строительство и эксплуатация нефтегазопроводов, баз и хранилищ» / Красников Анатолий Федорович; Тюменский государственный нефтегазовый университет. – Тюмень, 2005. – 24 с.

47. Правила безпеки систем газопостачання України: Державний комітет України по нагляду за охороною праці. – Офіц. вид. – К., 1997 р. – 142 с.

48. Правила обстеження, оцінки технічного стану, паспортизації та проведення планово-запобіжних ремонтів газопроводів і споруд на них: Державний комітет України по нагляду за охороною праці. – Офіц. вид. – К., 1998 р. – 92 с.

49. Газопостачання: ДБН В.2.5-20-2001 – [Чинний від 2001–08–01]. – К. : Держбуд України 2001. – 207 с. – (Національний стандарт України).

50. Василенко А. Ф. Анализ, управление и обработка информации

в системах катодной защиты газопроводов: автореф. дис. на соискание уч. степени канд. техн. наук: 05.13.01 «Системный анализ, управление и обработка информации (информационные и технические системы)» / Василенко Антон Федорович; Кубанский гос. технический университет. – Краснодар, 2011. – 22 с.

51. Седаков В. С. Надежность и качество процессов регулирования современных систем газоснабжения / В. С. Седаков – Х. : ХНАГХ, 2011. – 226 с. – ISBN 978-966-695-211-3.

52. Система газопостачання. Газопроводи підземні сталеві. Загальні вимоги до захисту від корозії: ДСТУ Б В.2.5-29:2006 – [Чинний від 2006–08–01]. – К. : Мінбуд України 2001. – 88 с. – (Національний стандарт України).

53. Сідак В. С. Інноваційні технології в діагностиці та експлуатації систем газопостачання / В. С. Сідак. – Харків : ХНАМГ, 2005. – 227 с.

54. Абдуллин И. Г. Диагностика коррозионного растрескивания трубопроводов / И. Г. Абдуллин, А. Г. Гареев, А. В. Мостовой. – Уфа: Гилем, 2003. – 99 с.

55. Гаррис Н. А. Формирование микро- и макрокоррозионных элементов на наружной поверхности газопровода / Н. А. Гаррис, М. З. Асадуллин, Г. Р. Аскарров // Сооружение, ремонт и диагностика трубопроводов / Сб. науч. тр. УГНТУ. – М. : ООО «Недра-Бизнесцентр», 2003. – С. 219–225.

56. Гаррис Н. Активизация коррозионных процессов на магистральных газопроводах большого диаметра при импульсном изменении температуры / Н. Гаррис, Г. Аскарров // Нефтегазовое дело. – 2006. – № 7. – С. 25–32.

57. Єнін П. М. / Газопостачання населених пунктів і об'єктів природним газом / П. М. Єнін, Г. Г. Шишко, К. М. Предун. – К. : Логос, 2002. – 198 с.

58. Енин П. М. / Газификация сельской местности / П. М. Енин, Г. Г. Шишко, Г. В. Пилюгин. – К. : Урожай, 1992. – 200 с.

59. Холодов В. І. Дистанційний метод дослідження герметичності газопроводів: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: 05.23.03 «Вентиляція, освітлення та теплогазопостачання» /

Холодов Віктор Іванович; Харк. держ. техн. ун-т буд-ва та архіт. – Харків, 2001. — 20 с.

60. Чуклеєв С. Н. Инновационные технологии фирмы Пергам / С. Н. Чуклеєв // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. – 2006. – № 6. – С. 45–48.

61. Шелудченко В. І. Способи підвищення ефективності експлуатації газотранспортних систем і ресурсозберігаючі технології теплогазопостачання: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня док. техн. наук: 05.23.03 «Вентиляція, освітлення та теплогазопостачання» / Шелудченко Володимир Ілліч; Донец. обл. ВАТ по газопостачанню та газифікації «Донецькоблгаз». – Макіївка, 1999. – 31 с.

62. Шахов А. В. Проектно-орієнтовне управління життєвим циклом ремонтноздатних технічних систем: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: 05.13.22 «Управління проектами та програмами» / Шахов Анатолій Валентинович; Одес. нац. мор. ун-т. — Одесса, 2007. – 38 с.

63. Ветошкин А. Г. Надежность и безопасность технических систем / А. Ветошкин, В. Марунин. – Пенза, 2002. – 125 с.

64. Повышение эффективности работы трубопроводных магистралей / [В. А. Иванов, Е. И. Яковлев, А. А. Пушкин и др.]. – М. : ВНИИОЭНГ, 1993. – 510 с.

65. Сухарев М. Г. Технологический расчет и обеспечение надежности газо- и нефтепроводов / М. Сухарев, А. Карасевич. – М. 2000. – 209 с.

66. Кучер В. Я. Основы технической диагностики и теории надёжности / В. Кучер. – СПб., 2004. – 48 с.

67. Степова О. В. Аналіз стану корозійної безпеки газопроводів Полтавської області / О. В. Степова, В. І. Галькевич, Я. В. Гудзь // Вісник Полтавської державної аграрної академії. – 2013. – № 2. – С. 132–135.

68. Дубов А. А. Метод магнитной памяти металла и приборы контроля: учебное пособие / А. А. Дубов, А. А. Дубов, С. М. Колокольников. – М. : ЗАО «ТИССО», 2008. – 365 с.

69. Власов В. Т. Физические основы метода магнитной памяти металла / В. Власов, А. Дубов. – М. : ЗАО «ТИССО», 2004. – 424 с.

70. Оцінка технічного стану сталевих конструкцій виробничих будівель і споруд, що знаходяться в експлуатації: ДБН 362–92. – Введ. 1992–07–01. – К. : Укрархбудінформ, 1995. – 46 с.

71. Експлуатаційні властивості і захист від корозії будівельних металоконструкцій: Розробки і практичний досвід забезпечення довговічності: Пресдосьє НВВЛ «Антикор–Дон» Донбаської національної академії будівництва і архітектури / В. П. Корольов (ред.), О. М. Гібаленко (уклад.). – Донецьк : Норд–Пресс, 2005. – 45 с.

72. Югов А. М. Технічна діагностика та оцінка залишкового ресурсу експлуатованих металевих конструкцій: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня д-ра техн. наук / А. М. Югов – Макіївка, 2004. – 36 с.

73. Рекомендации по оценке работоспособности участков газопроводов с поверхностными повреждениями. – М. : ВНИИГАЗ, 1996. – 18 с.

74. Защита трубопроводов от коррозии : учеб. пособ. Том 1 / [Ф. М. Мустафин, М. В. Кузнецов, Г. Г. Васильев и др.]. – СПб. : Недра, 2005. – 620 с.

75. Бекбаулиева А. А. / Совершенствование защиты внутренней поверхности трубопроводов от коррозии / А. А. Бекбаулиева, А. Р. Эпштейн, А. И. Подъяпольский // Нефтегазовое дело. – 2010. – № 5. – С. 19–24.

76. Банахевич Ю. В. Діагностування напруженого стану магістральних нафтогазопроводів в околі стикових зварних з'єднань та корозійних пошкоджень розрахунково-експериментальним методом: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: 05.15.13 «Нафтогазопроводи, бази та сховища» / Банахевич Юрій Володимирович; Нац. ун-тет «Львівська політехніка». – Івано-Франківськ, 2003. – 14 с.

77. Попов О. В. Моделі, методи та інструментальні засоби оперативного управління міським господарством: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: 05.13.06 «Інформаційні технології» / Попов Олександр Володимирович; Харк. нац. ун-т радіоелектроніки. – Харків, 2008. – 22 с.

78. Божинський І. А. Моделі і метод оперативного управління регіональними системами газопостачання: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: 05.13.06 «Автоматизовані системи управління та прогресивні інформаційні технології» / Божинський Іван Андрійович; Харк. нац. ун-тет. радіоел-ки. – Харків, 2006. – 16 с.

79. Склярів С. О. Математичні моделі та інформаційні технології автоматизованого управління системами проти корозійного захисту магістральних трубопроводів: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: 05.13.06 «Автоматизовані системи управління та прогресивні інформаційні технології» / Склярів Станіслав Олександрович; Харк. нац. ун-т радіоелектроніки. – Харків, 2002. – 19 с.

80. Руднік А. А. Методи підвищення ефективності транспортування газу: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: 05.15.13 «Нафтогазопроводи, бази та сховища» / Руднік Анатолій Андрійович; Ів.-Фран. ун-тет нафти і газу. – Івано-Франківськ, 2002. – 14 с.

81. Пасічник А. М. Перспективи розбудови нафтотранспортного коридору Європа – Азія – Близький Схід / А. М. Пасічник, С. С. Кравчук // Вісник АМСУ. – 2007. – № 1(33). – С. 67–70.

82. Ратушняк Г. С. Розроблення моделі оцінювання технічного стану розподільчих газопроводів для створення муніципальної гіс підсистеми газопостачання / Г. С. Ратушняк, О. І. Ободянська // Національне картографування: стан, проблеми та перспективи розвитку. – К., – 2010. – № 4. – С. 234–237.

83. Повышение эффективности работы трубопроводных магистралей / [В. А. Иванов, Е. И. Яковлев, А. А. Пушкин и др]. – М. : ВНИИОЭНГ, 1993. – 510 с.

84. Сухарев М. Г. / Технологический расчет и обеспечение надежности газо- и нефтепроводов. / М. Г. Сухарев, А. М. Карасевич. – М., 2000. – 208 с.

85. Розгонюк В. В. Удосконалення методики діагностування технічного стану та способів ремонту магістральних газопроводів: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: 05.15.13 «Нафтогазопроводи, бази та сховища» / Розгонюк Василь Васильович;

Івано-Франков. нац. техн. ун-т нафти та газу. – Івано-Франківськ, 2000. – 24 с.

86. Беккер М. В. Обеспечение надёжной работы газотранспортной системы ДК «Укратрансгаз» / М. В. Беккер // Сборник докладов научно-практического семинара. – К., 2007. – С. 19–21.

87. Дубовский Б. Г. Защита от коррозии сооружений промышленных предприятий / Б. Г. Дубовский. – К. : Техника, 1979. – 240с.

88. Довгань А. С. Оцінка факторів, що впливають на режими роботи станцій катодного захисту / А. С. Довгань // Науково-технічний збірник. – 2010. – № 75. – С 150–154.

89. Экилик Г. Н. Электрохимические методы защиты металлов / Г. Н. Экилик. – Ростов-на Дону, 2004. – 52 с.

90. Фокин М. Н. Методы коррозионных испытаний металлов / М. Н. Фокин, К. А. Жигалов. – М. : Metallurgia, 1986. – 80 с.

91. Северинова Л. Н. Повышение эффективности защиты от коррозии газопроводов с применением точечно-распределенных анодных заземлений: автореф. дис. на соскание уч. степени канд. техн. наук: 25.00.19 «Строительство и эксплуатация нефтегазопроводов, баз и хранилищ» / Северинова Любовь Николаевна; Ухтинский государственный технический университет. – Ухта, 2010. – 23 с.

92. Стеценко І. В. Моделювання систем / І. В. Стеценко. – Черкаси : ЧДТУ, 2009. – 399 с.

93. Митюшкин Ю. И. Soft Computing: идентификация закономерностей нечеткими базами знаний / Ю. И. Митюшкин, Б. И. Мокин, А. П. Ротштейн. – Винница : УНИВЕРСУМ–Винница, 2002. – 145 с.

94. Ротштейн А. П. Нечеткая надежность алгоритмических процессов / А. Ротштейн, С. Штовба. – Винница : Континент – ПРИМ, 1997. – 142 с.

95. Ратушняк Г. С. Управління проектами енергозбереження шляхом термореновації будівель: навч. посібник. / Г. С. Ратушняк, О. Г. Ратушняк. – Вінниця : ВНТУ, 2006. – 106 с.

96. Лялюк О. Г. Управління проектами зменшення радононебезпеки в будівництві / Лялюк О. Г. – Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2003. – 139 с.

97. Ратушняк Г. С. Інтенсифікація біоконверсії коливальним перемішуванням субстрату / Г. С. Ратушняк, В. В. Джеджула. – Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2008. – 117 с.

98. Ротштейн А. П. Интеллектуальные технологии индентификации. Нечеткие множества, генетические алгоритмы, нейронные сети / А. П. Ротштейн – Винница : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 1999. – 320 с.

99. Саати Т. Аналитическое планирование. Организация системы: Пер. с англ / Т. Саати, К. Керис – М. : Радио и связь, 1991. – 224 с.

100. Івакіна І. Стратегічний аналіз : підручник для студ. вищ. навч. закл. / І. Івакіна. – Х. : Фактор, 2008. – 256 с.

101. Ратушняк Г. С. Моделювання надійності систем газопостачання на основі лінгвістичної інформації / Г. С. Ратушняк, О. І. Ободянська // Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві. – 2009. – № 6. – С. 97–103.

102. Ратушняк Г. С. Модель багатофакторної оцінки технічного стану системи газопостачання / Г. С. Ратушняк, О. І. Ободянська // Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві. – 2010. – № 1. – С. 125–131.

103. Нападовська Л. В. Управлінський облік : підруч. для студ. вищ. навч. закл. / Л. В. Нападовська. – К. : Книга, 2004. – 544 с.

104. Ратушняк Г. С. Моделювання управління ризиком на газових мережах з використанням функцій належності лінгвістичних змінних методом Парето / Г. С. Ратушняк, О. І. Ободянська // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2012. – № 1. – С. 38–42.

105. Кузьмин И. В. Элементы вероятностных моделей АСУ / И. В. Кузьмин, А. А. Явка, В. И. Ключко – М. : Сов. радио, 1975. – 335 с.

106. Ратушняк Г. С. Моделювання процесу інтелектуальної підтримки прийняття рішення щодо оцінки стану системи газопостачання методом парних порівнянь / Г. С. Ратушняк, О. І. Ободянська // Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія. – 2010. – № 1(17). – С. 52–55.

107. Ратушняк Г. С. Лінгвістична логіко-ймовірна оцінка ризиків аварій в системах газопостачання / Г. С. Ратушняк, О. І. Ободянська // Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія. – 2011. – № 2(21). – С. 73–78.



108. Патент України № 73073, МПК С23 F13/00 / Ратушняк Г. С., Ободянська О. І., Слюсаренко Р. П. Глибинний анодний заземлювач. Бюл. № 17, 2012 р.

109. Патент України № 74372, МПК С23 F13/00 / Ратушняк Г. С., Ободянська О. І., Слюсаренко Р. П. Глибинний анодний заземлювач. Бюл. № 20, 2012 р.

110. Патент України № 61665, МПК С23 F13/00 / Ратушняк Г. С., Слюсаренко Р. П., Ободянська О. І., Бікс Ю. С. Матеріал для виготовлення анодного заземлювача. Бюл. № 14, 2011 р.

111. Патент України № 61666, МПК С23 F13/00 / Ратушняк Г. С., Слюсаренко Р. П., Ободянська О. І., Бікс Ю. С. Матеріал для виготовлення анодного заземлювача. Бюл. № 14, 2011 р.

112. Баженов Ю. М. Технологія бетона / Ю. М. Баженов. – М. : Высшая школа, 1987. – 415 с.

113. Ратушняк Г. С. Енергоощадна технологія влаштування вертикального глибинного анодного заземлювача з металонасиченого бетону / Г. С. Ратушняк, О. І. Ободянська // Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві. – 2013. – № 2. – С. 67–72.

*Наукове видання*

**Ратушняк Георгій Сергійович  
Ободянська Ольга Ігорівна**

**УПРАВЛІННЯ ЗМІСТОМ ПРОЕКТІВ  
ІЗ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НАДІЙНОСТІ ЗОВНІШНІХ  
ГАЗОРОЗПОДІЛЬНИХ МЕРЕЖ**

Монографія

Редактор Н. Мазур

Оригінал-макет підготовлено О. Ободянською

Підписано до друку  
Формат 29,7×42¼. Папір офсетний.  
Гарнітура Times New Roman.  
Друк різнографічний. Ум. др. арк. 9,24  
Наклад 300 (1-й запуск 1–75) прим. Зам № В2014-

Вінницький національний технічний університет,  
КІВЦ ВНТУ,  
21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95,  
ВНТУ, ГНК, к. 114.  
Тел. (0432) 59-85-32.

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи  
серія ДК № 3516 від 01.07.2009 р.

Віддруковано ФОП Барановська Т. П.  
21021, м. Вінниця, вул. Порика, 7.  
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи  
серія ДК № 4377 від 31.07.2012 р.