

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

**ІВАНО-ФРАНКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
НАФТИ І ГАЗУ**



ДРІНЬ Наталія Ярославівна

УДК 622.691.48

**ОЦІНКА ВТРАТ ГАЗУ ПРИ ТРУБОПРОВІДНОМУ ТРАНСПОРТІ І
ФОРМУВАННЯ АРЕАЛУ ЗАГАЗОВАНOSTІ ДОВКІЛЛЯ**

Спеціальність 05.15.13 – трубопровідний транспорт, нафтогазосховища

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Івано-Франківськ – 2020

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Івано-Франківському національному технічному університеті нафти і газу Міністерство освіти і науки України

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор
ГРУДЗ Володимир Ярославович,
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, професор кафедри газонафтопроводів та газонафтосховищ.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, доцент
ГОВДЯК Роман Михайлович,
Інжинірингова компанія "Машекспорт",
генеральний директор;

кандидат технічних наук
СТЕЦЮК Сергій Михайлович,
Український науково-дослідний інститут природних газів, начальник відділу транспортування газу і компресорних станцій.

Захист відбудеться 20 листопада 2020 р. о 14 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 20.052.04 Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу за адресою: 76019, Україна, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15.

Із дисертацією можна ознайомитись в науково-технічній бібліотеці Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу за адресою: 76019, Україна, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15.

Автореферат розісланий 19 жовтня 2020 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради Д 20.052.04
доктор технічних наук, доцент



Джус А.П.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Газотранспортна система України є однією з найпотужніших у світі за обсягом транспортування та збору газу. Ця система є буфером між газовидобувними регіонами Росії, Центральної Азії, а також Сходу і Півдня України та споживачами нашої держави і промислово розвинутої Європи. Тобто ГТС інтегрована в загальноєвропейську газову мережу.

Великі обсяги перекачування газу по газопроводах різних категорій призводять до значних втрат енергоносіїв, що знижує економічну ефективність використання газу та призводить до зростання ціни на газове паливо. Крім того, втрати газу, пов'язані з виникненням аварійних витоків з газопроводів, мають суттєвий негативний вплив на екологію довкілля.

Значні терміни експлуатації газопроводів викликають старіння металу внаслідок корозійних процесів, що обумовлює появу малих витоків з трубопроводів. Така ситуація є неприпустимою як з економічної, так і з екологічної точки зору, оскільки малий витік газу важко зауважити, внаслідок чого загазованість може обіймати значну територію, а деяких випадках призвести до утворення газоповітряної суміші і вибуху, в результаті якого виникають суттєві економічні збитки та небезпека для людського життя.

З сказаного очевидно, що діагностика малих витоків з газових мереж відноситься до першочергових завдань експлуатації газового господарства.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, роботами.

Дисертаційна робота носить науково-прикладний характер і входить в комплекс тематичних планів НАК «Нафтогаз України», спрямованих на підвищення надійності експлуатації газотранспортних мереж і окреслених Національною програмою «Концепція розвитку, модернізації і переоснащення газотранспортної системи України на 2016 – 2030 рр.».

Мета і завдання дослідження. Метою дисертаційної роботи є удосконалення контролю за втратами газу в процесі експлуатації магістральних газопроводів на основі встановлення закономірностей процесів витікання газу і його фільтрації в ґрунті.

Для досягнення поставленої мети було визначено такі *основні завдання*:

- аналітичні дослідження характеру фільтрації газу в пористому середовищі при появі аварійних витоків з газопроводу;
- оцінка впливу зовнішнього тиску на витрату аварійного витоку газу з магістрального газопроводу;
- дослідження фільтраційних характеристик ґрунтів і їх залежностей від зовнішніх і внутрішніх факторів;
- встановлення закономірностей формування ареалу загазованості довкілля аварійними витокami з газопроводів.

Об'єкт дослідження – аварійні витоки газу з газопроводів та процеси, що їх супроводжують.

Предмет дослідження – нестационарні газодинамічні процеси в газопроводах, викликані появою малих витоків та закономірності фільтрації газу в ґрунті.

Методи дослідження. Аналітичні методи побудови і реалізації математичних моделей нестационарних процесів в газопроводах при виникненні витоків газу, методи дослідження фільтрації газу в пористому середовищі, оцінки точності запропонованого методу формування ареалу загазованості, дослідження впливу зовнішніх і внутрішніх факторів на процес витікання газу з газопроводу.

Наукова новизна одержаних результатів полягає в тому, що вперше:

- побудовано двовимірну нестационарну математичну модель фільтрації газу в пористому середовищі при появі точкового аварійного витоку газу з газопроводу;
- встановлено закономірності процесу витікання газу з газопроводу в умовах протидії тиском, створеним за рахунок фільтраційного опору пористого середовища;
- виконано дослідження фільтраційних характеристик ґрунтів і їх залежностей від зовнішніх і внутрішніх факторів;
- отримано закономірності формування ареалу загазованості довкілля аварійними витокami з газопроводів.

Практичне значення одержаних результатів. Внесення корективів в аналітичні методи розрахунку витрати витоку з газопроводу, формування ареалу загазованості та діагностування витоків за характером нестационарного процесу. Результати досліджень лежать в основі розділу комплексної галузевої методики «Методи прогнозування режимів газотранспортної системи в умовах неповного завантаження і підрахунку запасів газу в трубах», яку прийнято до впровадження.

Особистий внесок здобувача. Безпосередньо автором здійснено:

- дослідження впливу температурного режиму газопроводів на енергоефективність транспорту газу [1];
- математичне моделювання фільтрації газу в ґрунті внаслідок виникнення малих витоків в газопроводі [2];
- статистичну оцінку втрат газу в розподільних мережах [3];
- оцінку матеріального балансу газопроводу в умовах нестационарного газоспоживання [4];
- дослідження процесу витікання газу з газопроводу [5];
- дослідження процесу фільтрації газу в ґрунті при появі витоків з газопроводу [6];
- дослідження впливу фільтраційного опору ґрунту на інтенсивність аварійних витоків з газопроводу [7];
- прогнозування потенційних ризиків виникнення витоків на газопроводах [8];
- оцінювання величин втрат газу і площ забруднення при пошкодженні магістрального газопроводу [9].

Апробація результатів дисертації. Основні положення роботи викладено та обговорено на наукових конференціях різного рівня: 7 Міжнародній науково-технічній конференції «Надежность и безопасность трубопроводного транспорта» (Новополок, 2011 р.), Всеукраїнській науково-практичній конференції «Шляхи підвищення ефективності експлуатації трубопроводного транспорту нафти і газу та підготовка кадрів галузі» (м. Івано-Франківськ, 2-3 вересня 2012 року), Науково-технічних конференціях професорсько-викладацького складу Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу (Івано-Франківськ, 2011-2013), нараді фахівців НАК «Нафтогаз України» з питань науково-технічного співробітництва в галузі транспортування газу» (Яремче, 2012 р.).

Результати дисертаційної роботи в повному обсязі доповідались на науковому семінарі кафедри газонафтопроводів та газонафтосховищ і міжкафедральному науковому семінарі Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу в 2020 році.

Публікації. За темою дисертаційної роботи опубліковано 9 друкованих праць, з яких 1 – у міжнародному науковому журналі, що індексуються у наукометричній базі даних Index Copernicus International, 7 – у наукових фахових виданнях, 1 – тези доповідей на міжнародній конференції.

Структура та обсяг дисертації. Дисертаційна робота викладена на 146 сторінках машинописного тексту, складається зі вступу, 4 розділів, загальних висновків, списку використаних джерел та 2 додатків. Робота ілюстрована 5 таблицями та 27 рисунками. Список використаних джерел містить 120 найменування, з них 89 кирилицею та 31 латиницею.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ ДИСЕРТАЦІЇ

У **вступі** наведена загальна характеристика роботи, показано актуальність теми, її зв'язок з науковими планами, програмами, мету і задачі досліджень, її наукову новизну і практичну цінність, а також особистий внесок автора в результати досліджень.

Перший розділ присвячено дослідженням стану проблеми на основі аналізу літературних джерел, формуванню та конкретизації задач досліджень.

Газотранспортна система України є складним промисловим комплексом, газопроводи якої мають технологічні перемички та з'єднані з ПСГ. Це дає можливість працювати в єдиному технологічному режимі та забезпечувати високий рівень надійності й маневреності в процесі цільового постачання газу, а також постачання газу в екстремальних ситуаціях.

Втрати газу зумовлені цілою низкою чинників, основними з яких є:

- недоліки засобів вимірювання витрати газу та методів, які реалізують ці засоби;
- похибки приладів обліку газу та приладів визначення фізико-хімічних параметрів газу;

- використання побутових газових плит для опалення та гарячого водопостачання внаслідок порушень у роботі систем централізованого тепlopостачання та гарячого водопостачання;

- пошкодження й аварії на газопроводах за умов, коли витoki газу не обліковані;

- вимірювання побутовими лічильниками витрат у разі неприведення об'єму газу до стандартних умов;

- недоліки в інших аспектах організації обліку витрат газу;

- незадовільна робота централізованого тепло- та водопостачання;

- фізична зношеність обладнання, що використовує газ.

Друга частина втрат газу не залежить від діяльності газових господарств і має об'єктивний характер.

Головними складовими цієї частини понаднормативних втрат є:

- 1) незадовільна робота підприємств теплоенергетики, що забезпечують централізоване опалення житла та гаряче водопостачання;

- 2) невідповідність норм споживання газу для населення його фактичному споживанню (через зазначений фактор газові господарства постійно несуть значні втрати);

- 3) втрати газу внаслідок втручання в роботу приладів обліку газу та самовільного підключення споживачів до системи газопостачання;

- 4) використання лічильників газу роторного типу. Їх встановлено більше 950 тис. штук (або практично кожен п'ятий лічильник). Після 2-3 років роботи такі лічильники мають велику від'ємну похибку вимірювання об'єму спожитого газу. За розрахунками втрати газу з цієї причини становлять близько 100 млн. м³ на рік.

Фізичні втрати пов'язані з тим, що мережа газопроводів досить часто прокладена на ділянках із агресивними чи вологими ґрунтами, в місцях з підвищеним ризиком електрохімічної корозії тощо, унаслідок чого матеріал труб зазнає посиленого руйнування.

Відомо, що в процесі експлуатації магістральних газопроводів виникають порушення герметичності, котрі проявляються у вигляді витікань газу різної інтенсивності, створюють загрозу забруднення навколишнього середовища та є потенційно небезпечними для виникнення відказів системи.

На поверхні ґрунту такі витікання проявляються як температурні аномалії на природному температурному фоні та аномалії концентрацій вуглеводнів у приповерхневому шарі Землі й атмосфери. На відміну від аномалій іншого походження, у зоні витікання вони практично не залежать від просторових координат і часу.

Викладені особливості стали підґрунтям для розвитку методів дистанційного виявлення ділянок порушення герметичності магістральних газопроводів. Дослідження провадилися у трьох напрямках: вимірювання радіаційних температур (Д. А. Абернаті, США, 1991; Д. Пітер, США, 1984; К. Я. Казаков, Є. Н. Зеленов, Росія, 1993); вимірювання концентрацій метану в приповерхневому шарі повітря (П. Г. Філіппов, Росія, 1994; Г. Цвік, США,

1985); комплексне вивчення поля концентрацій і температур (В. В. Бабаєв, В. І. Холодов, Україна, 1991, 1994).

Поряд із фізичним здійснено математичне моделювання температурного поля магістральних газопроводів, що передбачало два етапи.

1. Розрахунок двовимірного стаціонарного температурного поля в ґрунті навколо газопроводу без витікання газу (результатом цього розрахунку є початкове температурне поле в ґрунті для обчислення одновимірного нестаціонарного поля, а також температурна аномалія на поверхні ґрунту над магістральним газопроводом).

2. Розрахунок нестаціонарного температурного поля в ґрунті та навколо магістральних газопроводів із витіканням газу.

Іншим цікавим напрямком дистанційного обстеження газопроводів є застосування методу радіометрії, заснованого на вимірюванні у районі трубопроводу позірної температури. В. С. Кудряшовим, В. І. Холодовим, В. В. Бабаєвим виконано аналіз НВЧ-випромінювання неоднорідно зволжених ґрунтів, одержано оцінки якості виявлення температурних аномалій і змодельовано кілька варіантів технічної реалізації комплексу. В результаті теоретичних досліджень розроблено та створено макет автоматичного варіанту комплексу, до складу якого входить сканувальна антенна система, два кореляційні радіометри з робочою частотою 400 МГц та 900 МГц, блок цифрового оброблення та сполучення з ПЕОМ, автономне джерело живлення, контрольно-вимірювальна апаратура. Для керування комплексом, встановлення та документування параметрів, обробки інформації, її перегляду та зберігання розроблено програмне забезпечення.

Прогнозування витрати газу при його витіканні з технологічних трубопроводів та ємностей під тиском, а також розрахунки втрат газу через корозійні пошкодження газопроводів газових мереж зазвичай здійснюються на основі відомої формули Сен-Венана-Вентцеля, теоретично отриманої на основі відомого в газодинаміці рівняння – рівняння енергії.

Останнім часом в зв'язку з подорожчанням енергоносіїв почали появлятися публікації з результатами досліджень, які свідчать про те, що формула Сен-Венана-Вентцеля дає суттєво завищені результати у визначенні масової витрати витікання газу. Це вносить похибки в плани виконання аварійно-відновлювальних робіт, пов'язаних з втручанням газу, і завищує величину допустимих втрат при експлуатації магістральних газопроводів і газових мереж.

Класичними принципами в сфері дослідження процесу витікання газу під тиском слід вважати дослідження Чарного І.А. в яких запропоновано аналітичну основу математичного моделювання процесу, яка базується на рівнянні енергії, а також праці Лойцяньського Л.Г., Щербакова С.Г., Яковлева Е.И., Абрамовича Г.Н. У вказаних працях наведено результати досліджень термогазодинаміки процесу витікання, дано аналіз факторів, що мають вплив на протікання процесу, визначено границі критичного та докритичного витікання, запропоновано розрахункові формули та методики. Однак, реальний

вплив параметрів процесу на витрату газу виявляється складнішим в порівнянні з прогнозованим теоретично.

Припущення, покладені в основу отримання залежності масової витрати при витіканні газу з ємності через отвір в тонкій стінці, мають суттєвий вплив на результати моделювання процесу, оскільки реальна масова витрата значно відрізняється від розрахункової. При зміні абсолютного тиску в ресивері від 1,0 МПа до 0,54 МПа (кінець зони критичного витікання) коефіцієнт витрати змінюється від 0,776 до 0,709 при температурі в ресивері 288 К. Збільшення температури газу в ресивері приводить до більш суттєвого відхилення фактичної витрати від теоретичної. Тоді при температурі в ресивері 283 К і тиску 1,0 МПа коефіцієнт витрати складає 0,776, а при збільшенні температури до 298 К знижується до 0,756 і при подальшому зростанні температури до 313 К – зменшується до 0,738. При тиску 0,54 МПа за температури 283 К коефіцієнт витрати складає 0,709, а при зростанні температури до 298 К зменшується до 0,696 і в подальшому при зростанні температури до 313 К знижується до 0,678.

Отримані на основі порівняння результатів теоретичних і фактичних досліджень поправки до формули Сен-Венана-Вентцеля дозволяють адаптувати модель до реальності в умовах докритичного та критичного режимів витікання газу.

Наступним етапом розвитку діагностування витоків газу з газопроводів є дослідження формування ареалу загазованості доквілля. В основу математичних моделей досліджень витікання газу з газопроводу і його фільтрації в ґрунті покладено рівняння нестационарної плоскої фільтрації газу в пористому середовищі, в якій джерело витоків розглядається як точкове джерело і моделюється за допомогою функції Дірака.

Загальний процес формування ареалу загазованості може бути розділений на дві нестационарні фази. Перша фаза починається з моменту виникнення витоків і закінчується досягненням газом поверхні ґрунту. Для першої фази швидкість фільтрації на поверхні ґрунту за весь період рівна нулю. Друга фаза нестационарної фільтрації починається з моменту досягнення газом поверхні ґрунту і закінчується (при умові сталості інтенсивності джерела) переходом до стаціонарного процесу витікання газу через ґрунт в атмосферу.

Аналіз результатів показує, що найбільший об'єм ареал загазованості ґрунту займає на кінець першої фази нестационарної фільтрації газу в ґрунті.

Це пояснюється наявністю певного фільтраційного опору ґрунту в період досягнення газом поверхні ґрунту. З наближенням до поверхні величина фільтраційного опору зменшується, що призводить до зростання поверхні ареалу загазованості.

Після досягнення газом поверхні ґрунту фільтраційний опір різко зменшується, що призводить до зростання швидкості переходу газу з ґрунту в атмосферу. Внаслідок цього площа поверхні загазованості повинна зменшитися, а відповідно до принципу нерозривності, швидкості виходу газу в атмосферу – зросли. Побудована нами математична модель підтверджує це положення. Таким чином, в період першої, другої нестационарної фази площа

поверхні загазованості повинна зменшуватися, а швидкість виходу газу в атмосферу – зростати.

Такий нестационарний процес триватиме до встановлення енергетичної рівноваги, яка забезпечить стаціонарний процес витікання газу з газопроводу, його фільтрацію через шар ґрунту і витікання з поверхні ґрунту в атмосферу. Очевидно, що при цьому масова витрата витоку газу з газопроводу повинна бути рівна масовій витраті виходу газу з поверхні ґрунту в атмосферу внаслідок стаціонарності процесу. Це встановлює взаємозв'язок між величиною витоку газу з газопроводу і величиною його виходу з поверхні ґрунту в атмосферу. Такий підхід дає можливість оцінити втрати газу через корозійні пошкодження трубопроводів при транспортуванні та розподіленні з одного боку і вести діагностичні спостереження і контроль за пошкодженнями газопроводів.

Аналіз літературних джерел з питань діагностування аварійних витоків з газопроводів дозволив сформулювати мету і задачі майбутніх досліджень.

Другий розділ присвячено аналітичним дослідженням процесу витікання газу з підземних газопроводів під тиском.

Математична модель плоскої нестационарної фільтрації газу в ґрунті побудована на основі рівняння лінійної фільтрації у формі Дарсі та рівняння нерозривності

$$\frac{\partial \omega}{\partial t} = \frac{kc^2 \rho}{\eta} \left(\frac{\partial^2 \omega}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \omega}{\partial y^2} \right) - \frac{kc^2 \rho q}{\eta F} \delta(x - x_g) \delta(y - y_g), \quad (1)$$

де ω – швидкість фільтрації як функція часу t і просторових декартових координат x, y ; x_g, y_g – координати точкового джерела інтенсивністю q ; $\delta(x - x_g), \delta(y - y_g)$ – функції Дірака; F – площа перетину фільтрації. c – швидкість розповсюдження звуку в середовищі; ρ – густина газу.

Аналогічно для розподілу тисків в пористому середовищі математична модель має вигляд

$$\frac{\partial^2 P}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 P}{\partial y^2} = \frac{1}{\alpha} \frac{\partial P}{\partial t} - q \frac{c^2}{\alpha} \delta(y - H) \delta(x - l) - q \xi \sigma (y - H) \delta(x - l), \quad (2)$$

де H – глибина розміщення витоку від поверхні; l – віддаль до джерела по горизонталі від початку координат, ν – кінематична в'язкість газу.

При виборі початкових і граничних умов вважалось, що в початковий момент часу фільтрація газу в ґрунті відсутня, поверхня ґрунту газу непрониклива, а на безмежному віддаленні від джерела швидкість фільтрації дорівнює нулю, тобто

$$\omega(x, y, 0) = 0; \omega(0, h, t) = 0; \omega(\infty, h, t) = 0, \quad (3)$$

де h – глибина закладення газопроводу в ґрунті.

Поставлена задача розв'язувалась із застосуванням інтегральних перетворень Фур'є по змінній y і перетворення Лапласа по часу t .

Використовуючи обернене перетворення Лапласа і синус-перетворення Фур'є, одержано розв'язок поставленої задачі у вигляді

– для швидкості фільтрації:

$$\omega(x, y, t) = \frac{q}{2\pi F} \int_0^{\infty} \frac{\sin \lambda y_g \sin \lambda y}{\lambda} \left\{ \left[\sigma(x - x_g) - 1 \right] \left[e^{-\lambda(x_g - x)} \operatorname{erfc} \left(\frac{x_g - x}{2\sqrt{\lambda t}} - \lambda\sqrt{\lambda t} \right) \right] \right. \\ \times \left\{ \left[\sigma(x - x_g) - 1 \right] \left[e^{-\lambda(x_g - x)} \operatorname{erfc} \left(\frac{x_g - x}{2\sqrt{\lambda t}} - \lambda\sqrt{\lambda t} \right) \right] - \right. \\ \left. \left. - e^{-\lambda(x_g - x)} \operatorname{erfc} \left(\frac{x_g - x}{2\sqrt{\lambda t}} + \lambda\sqrt{\lambda t} \right) \right] - e^{-\lambda(x - x_g)} \operatorname{erfc} \left(\frac{x - x_g}{2\sqrt{\lambda t}} + \lambda\sqrt{\lambda t} \right) \right\} \right\} d\lambda ; \quad (4)$$

– для тиску в пористому середовищі:

$$P(x, y, t) = P_a + \frac{q}{2\pi} \int_0^{\infty} \frac{\sin \lambda y_0 \sin \lambda y}{\lambda} \times \left\{ \left[\sigma(x - x_0) - 1 \right] \left[e^{-\lambda(x_0 - x)} \operatorname{erfc} \left(\frac{x_0 - x}{2\sqrt{\lambda t}} - \lambda\sqrt{\lambda t} \right) \right] - \right. \\ \left. - e^{\lambda(x_0 - x)} \operatorname{erfc} \left(\frac{x_0 - x}{2\sqrt{\lambda t}} + \lambda\sqrt{\lambda t} \right) \right\} - \sigma(x - x_0) \times \left\{ e^{-\lambda(x - x_0)} \operatorname{erfc} \left(\frac{x - x_0}{2\sqrt{\lambda t}} - \lambda\sqrt{\lambda t} \right) - \right. \\ \left. - e^{\lambda(x - x_0)} \operatorname{erfc} \left(\frac{x - x_0}{2\sqrt{\lambda t}} + \lambda\sqrt{\lambda t} \right) \right\} d\lambda. \quad (5)$$

Однак, аналіз показує, що навіть при сталому тиску і сталому діаметрі отвору масова витрата витоку газу не може бути сталою в час за умов до критичного витікання, оскільки міняється зовнішній тиск P_1 .

Встановити характер зміни масової витрати витоку впродовж першої і другої фази нестационарної фільтрації газу в пористому середовищі не представляється можливим в аналітичній формі, оскільки тиск і витрата витоку взаємно пов'язані. Тому в даному випадку доцільно застосувати ітераційний метод, який полягає в періодичній зміні стаціонарних станів системи.

Принципова процедура розрахунку полягає в наступному. Вважаються відомими геометричні характеристики системи, фізичні властивості газу, а також тиск і температура в газопроводі, які вважаються сталими в часі. В початковому наближенні тиск середовища за отвором приймаємо рівним атмосферному P_a .

Діапазон часу нестационарного витікання газу розбивається на дискретні проміжки часу Δt , всередині яких процес можна вважати квазістаціонарним. На початку першого часового інтервалу витрата витоку визначається з залежності Сен-Венана-Вентцеля і вважається сталою. Це дає змогу використати для визначення швидкості фільтрації w і тисків в поровому середовищі (грунті) залежності (4) і (5). За знайденою за (4) швидкістю фільтрації w і проміжками часу Δt визначається висота проникнення газу в ґрунт

$$y_i = w \cdot \Delta t.$$

Якщо $y_i < H$, то має місце перша фаза нестационарної визначається з залежності (4). В іншому випадку має місце друга фаза нестационарної фільтрації газу в ґрунті, і тиск визначається з (5). Знаючи тиск газу $P(0,0,t)$ в довікллі уточнюємо величину витрати газу за формулою Сен-Венана-Вентцеля. Ітераційний процес триває до досягнення необхідної точності δq у визначенні

витрати і закінчується після виконання умови $|G^{(s)} - G^{(s-1)}| < \delta q$. Після досягнення виконання умови ітераційний процес переходить до наступного дискретного проміжку часу Δt . Вся процедура закінчується після досягнення стаціонарності процесу витікання, тобто до моменту часу, після якого тиск $P(0,0,\Delta t)$ і масова витрата витоку $G_i^{(s)}$ перестають залежати від часу. В результаті отримують залежності зміни масової витрати і тиску газу в пористому середовищі за аварійним отвором як функції часу протягом першої і другої фази нестационарної фільтрації.

На рисунку 1 наведено результати прогнозування характеру зміни масової витрати витоку і тиску газу в перерізі за отвором для процесу нестационарної фільтрації газу викликаного аварійним витоком з газопроводу для гіпотетичних умов. В умовах числового експерименту проникливість ґрунту було прийнято 0,08 і 0,04 дарсі.

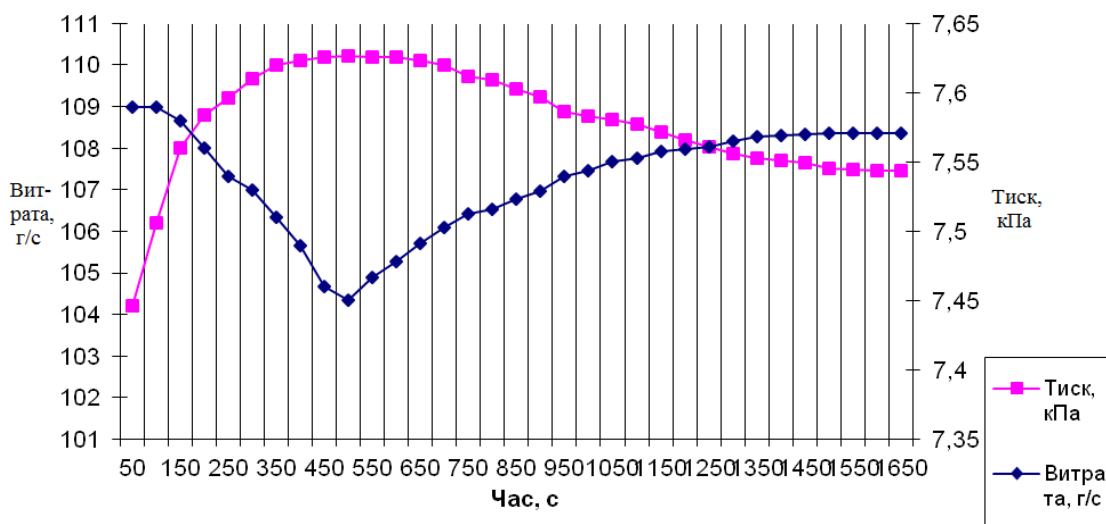


Рисунок 1 – Динаміка зміни тиску і витрати витоку газу в часі

Аналіз результатів дослідження показує, що загальна тривалість процесу нестационарної фільтрації газу в ґрунті при виникненні аварійного витоку з газопроводу лежить в межах 1500-1800 с і з збільшенням проникності ґрунту зменшується. Відповідно тривалість першої фази нестационарної фільтрації газу в ґрунті проникністю 0,04 дарсі складає близько 500 с, а при зменшенні проникності до 0,01 дарсі зростає до 650 с.

Масова витрата витоку в умовах до критичного режиму впродовж першої фази нестационарної фільтрації знижується за рахунок зростання тиску в пористому середовищі, викликаного фільтрацією газу. Як видно з графіків, зменшення проникності ґрунту в два рази призводить до зростання тиску на кінець першої фази нестационарної фільтрації на 5,7% у випадку проникності ґрунту 0,08 дарсі і на 5,9% у випадку проникності 0,04 дарсі. В подальшому тиск стабілізується на кінець другої фази нестационарної фільтрації, що призводить до стабілізації витрати витоку.

Внаслідок зміни тиску в пористому середовищі витрати витоку впродовж першої фази нестационарної фільтрації зменшується і досягає мінімуму 0,906 від початкового значення при проникності ґрунту 0,08 дарсі і 0,068 – при проникності 0,04 дарсі.

В подальшому впродовж другої фази нестационарної фільтрації тиск газу в пористому середовищі знижується, що призводить до певного зростання витрати витоку в 1,08 рази порівняно з мінімальною при проникності ґрунту в 0,08 дарсі і в 1,09 рази при проникності ґрунту 0,04 дарсі.

В загальному витрата витоку на кінець процесу нестационарної фільтрації дещо менша за початкову величину в момент появи витоку і складає 98% у випадку проникності ґрунту 0,08 дарсі та 93 % у випадку проникності ґрунту 0,04 дарсі.

Таким чином, в результаті, проведених досліджень встановлено, що за рахунок припущень при отриманні формули Сен-Венана Вентцеля отримані результати суттєво вищі за реальні, для адекватності прогнозованих показників запропоновано використовувати поправки в залежності від характеру витікання, які є функціями параметрів процесу і фізичних властивостей газу і для яких запропоновано емпіричні формули.

В третьому розділі приведено результати експериментальних досліджень фільтраційних характеристик ґрунтів.

Метою проведення досліджень є встановлення характеристик пористого середовища (ґрунту), що мають вплив на характер формування ареалу загазованості витоками газу з газопроводу і їх залежності від типів ґрунтів та зовнішніх впливів.

Вказана мета досягається шляхом реалізації наступних задач дослідження:

- дослідження проникності різних типів ґрунтів в залежності від їх щільності та фракційного складу;
- дослідження впливу на проникність ґрунтів внутрішнього тиску;
- дослідження впливу на проникність ґрунтів їх вологості.

Вказані закономірності встановлюються шляхом проведення серій експериментів на дослідному стенді в лабораторних умовах.

Для кожного досліджу готувалася окрема проба ґрунту в контейнері визначеного гранулометричного складу і густини, а також заданої вологості і внутрішнього тиску.

Для забезпечення лінійного закону фільтрації повітря у пробі ґрунту, яка містилась в контейнері, обмежувалась витрата повітря Q через барокамеру. Критичне число Рейнольдса

$$\text{Re}_{кр} = \frac{w_{кр} d_0 \rho}{m \eta}, \quad (6)$$

де $w_{кр}$ – критична швидкість повітря при переході до нелінійного закону фільтрації; d_0 – гранулометрична характеристика (діаметр твердої фракції); η – динамічна в'язкість повітря; m – пористість взірця ґрунту.

Серед незалежних факторів, які мають вплив на величину коефіцієнта проникності ґрунту, були вибрані наступні: внутрішній тиск ґрунту σ ; вологість ґрунту φ ; щільність сухого ґрунту ρ ; діаметр гранул d_0 . Кожен із незалежних параметрів міг приймати в даній серії дослідів 5 конкретних значень. В якості функції-відгуку вибрано коефіцієнт проникності ґрунту k . Таким чином, функціональні залежності функції-відгуку від незалежних параметрів будувались по п'яти рівнях, в результаті отримано формулу

$$k = 0.55 \cdot d_0^{0.75} \rho^{-0.21} \exp(-31,5\varphi^{2.1} \sigma^{0.55}), \quad (7)$$

де k – коефіцієнт проникності, дарсі; d – діаметр гранул в мм; φ - вологість ґрунту; σ – внутрішній тиск, н/см².

Залежність (7) добре корегує з аналітичними виразами, отриманими на основі реалізації математичної моделі, що підтверджує достовірність проведених досліджень.

Четвертий розділ присвячено встановленню закономірностей формування ареалу загазованості довкілля з урахуванням властивостей ґрунтів.

Отримані аналітичні залежності швидкості фільтрації газу в пористому середовищі і характеру зміни тиску при цьому для умов нестационарного процесу формування ареалу загазованості дозволяють побудувати процес зміни його характеристик у просторі і часі впродовж першої фази нестационарної фільтрації, тобто для проміжку часу, за який газ досягне поверхні ґрунту, в залежності від величини аварійного витoku і властивостей пористого середовища. Задача полягає в тому, щоб установити загальні закономірності процесу формування ареалу загазованості з врахуванням властивостей ґрунту. Поставлена задача вимагає вибору і підготовки інформації про тип ґрунтів в даному регіоні, їх фракційного складу, внутрішнього тиску та вологості на момент появи витoku. Збір та первинна обробка такої інформації, як правило, є трудомісткою процедурою, і в процесі оперативного прогнозування може бути отримана лише з певними припущеннями. Одним з таких припущень є однорідність ґрунту в зоні появи аварійного витoku і формування ареалу загазованості. Крім того, вважається, що витік є малим, величина його витрати є сталою хоча б на початку процесу.

Складність математичного моделювання процесу формування ареалу загазованості довкілля аварійними витокami з газопроводу полягає в тому, що модель містить багато факторів, які різним чином впливають на характер фільтрації газу в пористому середовищі і мають тенденцію до зміни як в просторі, так і в часі. Тому підготовка вихідної інформації для реалізації математичної моделі є тривалим і клопітким процесом, який вимагає проведення спеціальних вишукувань в природних умовах траси, що вимагає значних затрат часу. В зв'язку із сказаним діагностика аварійних витоків з газопроводу на стадії їх появи через аналіз процесу формування ареалу загазованості є не завжди можливою і адекватною. Тому задачі оперативного слідкування за станом газопроводу на основі аналізу фільтрації газу в ґрунті не

можуть бути використані з метою діагностики аварійних витоків газу з газопроводу в зв'язку з тривалістю їх реалізації.

Математичне моделювання процесу формування ареалу загазованості ґрунту аварійними витокami з газопроводу повинно бути використане з метою встановлення загальних закономірностей процесу для оцінки загальної тривалості формування ареалу загазованості, його геометричних характеристик і динаміки їх зміни в часі. Таким чином, реалізація математичної моделі повинна дозволити оцінити тривалість фільтрації газу в ґрунті до його появи на поверхні ґрунту, обсяг газу, що насичує пористе середовище, загальну територію загазованості і т. д.

Для досягнення вказаної мети проводились розрахунки, пов'язані з фільтрацією газу в ґрунті внаслідок появи аварійного витoku газу для гіпотетичного середовища, представленого піщаним ґрунтом заданого гранулометричного складу за умови однорідності по об'єму при наявності трав'яного покриву поверхні за приведеним алгоритмом. Метою проведених розрахунків було встановлення загальних характеристик процесу формування ареалу загазованості на основі аналізу побудованих графічних залежностей.

Одержана залежність (5) дозволяє прогнозувати зміну тиску в пористому середовищі в часі за рахунок зростання фільтраційного опору, викликаного витіканням газу з трубопроводу. При $x = 0$ і $y = 0$ залежність (5) дає можливість визначити величину тиску, який протидіє витіканню. Однак, в аналітичній формі описати процес витікання газу з трубопроводу неможливо, оскільки в (5) вважається, що величина витрати витoku газу з трубопроводу є сталою. При зміні тиску зовнішнього опору витрата витoku також буде змінюватися в часі, що не враховано в (5). Тому для розв'язання задачі пропонується використати ітераційний метод, який передбачає розбиття часу витікання на дискретні проміжки Δt , впродовж кожного з яких витрату витoku можна вважати сталою. Для першого часового інтервалу тиск протидії витіканню слід вважати рівним гідростатичному тиску ґрунту на глибині залягання трубопроводу. Тоді масова витрата витoku може бути знайдена з формули Сен-Венана – Венцеля. За (5) прогнозується величина тиску зовнішнього опору витіканню $P(0,0,\Delta t)$ на кінець проміжку Δt , і визначається нова витрата витoku за формулою Сен-Венана-Венцеля. Таким чином, плавна крива зміни величини витрати витoku в часі замінюється ступінчатою залежністю, яка при виборі достатньо малого інтервалу ітерацій Δt адекватно відобразить реальний характер витікання.

На рисунку 2 наведено залежності зміни тиску фільтраційного опору середовища (тиску протидії витіканню) і зміни витрати витoku в часі, що побудовані для різних характеристик ґрунтів.

Аналіз отриманих графічних залежностей показує, що зростання тиску протидії витіканню за рахунок фільтраційного опору ґрунту визначається проникністю пористого середовища і фізичними властивостями газу. При сталому тиску в газопроводі і незмінній площі перетину витікання зростання тиску фільтраційного опору призводить до зменшення витрати витoku. Тривалість процесу нестационарної фільтрації газу в ґрунті залежить від

проникності пористого середовища і може коливатися в значному часовому діапазоні.

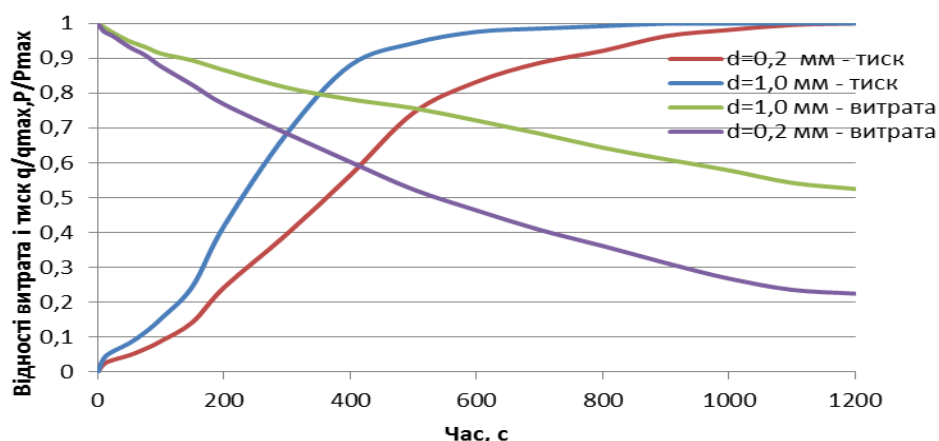


Рисунок 2 – Залежність тиску і витрати витоків від часу для різних ґрунтів

Збільшення проникності ґрунту призводить до зростання процесу нестационарної фільтрації. Так, для ґрунтів типу пісків з діаметром гранул 1,0 мм час нестационарної фільтрації складає близько 800 с, а для ґрунтів типу пісків з діаметром гранул 0,2 мм він становить 1100 с.

За результатами розрахунків будувалося поле швидкостей на кінець кожного з проміжків часу, яке визначає характер формування ареалу загазованості ґрунту аварійними витоків з газопроводу. Результати дослідження у вигляді графіків наведені на рисунку 3, а.

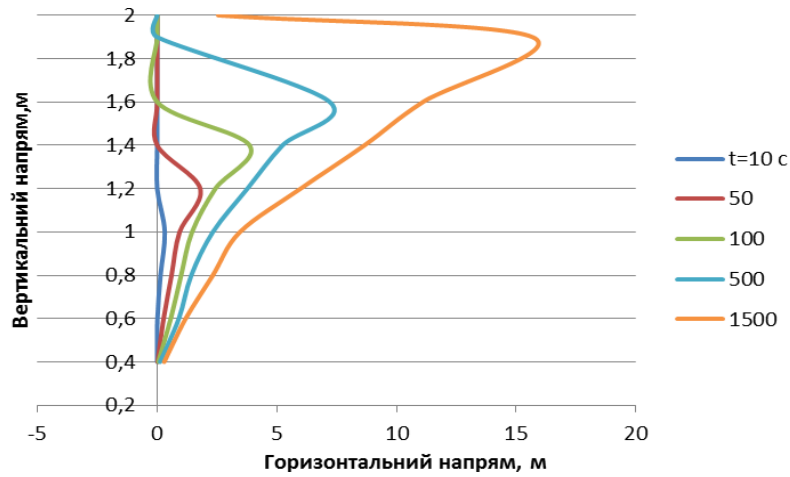
Аналіз приведених графіків показує, що характер формування ареалу загазованості ґрунту з урахуванням фільтраційного опору пористого середовища суттєво відрізняється від результатів, отриманих без урахування підвищення тиску внаслідок фільтраційного опору ґрунту, графічні характеристики якого подані на рисунку 3, б.

Врахування підвищення тиску на виході аварійного витоків газу в пористе середовище внаслідок фільтраційного опору ґрунту суттєво змінює фізичну картину процесу. В продовж першої фази нестационарної фільтрації газу він за рахунок архімедової сили і внаслідок збільшення коефіцієнту проникності ґрунту за рахунок зниження внутрішнього тиску по висоті піднімається до поверхні, витискуючи з пористого середовища повітря, яке в свою чергу створює додатковий опір фільтрації газу. Внаслідок зростання опору у вертикальному напрямку газ отримує можливість розширення в горизонтальній площині, що призводить до збільшення радіуса ареалу загазованості в горизонтальному напрямку. Після досягнення поверхні землі збільшення радіального розповсюдження газу практично припиняється в зв'язку з зниженням опору у вертикальному напрямку.

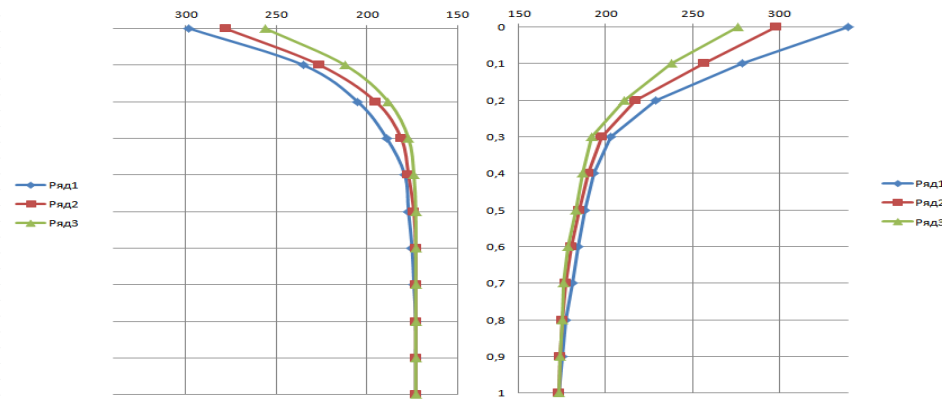
На рисунку 3, в наведені графічні залежності, що характеризують формування ареалу забруднення ґрунту витоків нафти з нафтопроводу. Цікавим є те, що характер формування ареалу принципово відповідає

аналогічним процесам формування ареалу загазованості ґрунту витокami газу з газопроводу. Відмінність полягає в тому, що для фільтрації нафти під дією гравітаційних сил основний масив ареалу забруднення розміщується на глибині, близькій до джерела витoku, в той час, як для ареалу загазованості під дією архімедової сили ареал піднімається ближче до поверхні землі.

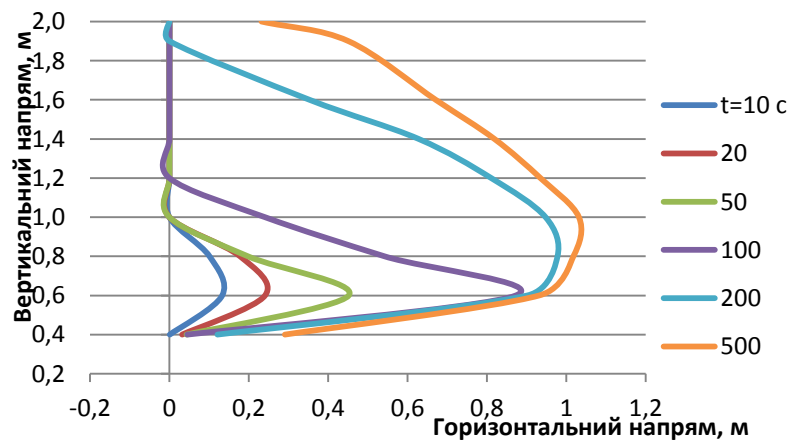
а)



б)



в)



а) – за результатами приведених досліджень; б) – за результатами досліджень, без врахування фільтраційного опору; в) – за результатами досліджень витоків нафти

Рисунок 3 – Характер формування ареалу загазованості ґрунту

На основі результатів проведених досліджень процесу витікання газу з газопроводу через аварійні витіки під тиском і формування ареалу загазованості внесено ряд змін до методики оцінки втрат газу при транспортуванні.

Аналіз отриманих результатів експлуатації системи розподільних газопроводів середнього тиску УЕГГ «Косівгаз» за 2012 р показує, що методики прогнозних розрахунків втрат газу з газопроводів середнього тиску дають завищені результати в порівнянні з фактичними даними, причому середньорічна похибка для методики – 1 складає 18,2%, а для методики ґрунту 2 – 9,5%. Підвищення точності удосконаленої методики досягається за рахунок врахування фільтраційного опору середовища при русі витіку газу з газопроводу дозволяє рекомендувати удосконалену методику для практичних прогнозів.

ВИСНОВКИ

На основі результатів проведених досліджень вирішено важливу науково-технічну задачу дослідження процесу формування ареалу загазованості ґрунту аварійними витіками з газопроводу.

1. На основі аналітичних досліджень характеру фільтрації газу в пористому середовищі при появі аварійних витоків з газопроводу побудовано математичну модель процесу у вигляді двовимірної нестационарної системи, реалізація якої методом інтегральних перетворень дозволила створити методику прогнозування і контролю процесу формування ареалу загазованості ґрунту аварійними витіками з газопроводу.

2. На базі результатів математичного моделювання процесу нестационарної фільтрації газу в ґрунті дана оцінка впливу зовнішнього тиску на витрату аварійного витіку газу з магістрального газопроводу в процесі експлуатації. Встановлено, що величина витіку залежить від фільтраційного опору середовища, зокрема від типу ґрунту, зокрема від його проникності. Отримані реальні результати суттєво нижчі за величину прогнозованих показників, в зв'язку з чим запропоновано використовувати поправки в залежності від характеру витікання, які є функціями параметрів процесу і фізичних властивостей газу і для яких запропоновано емпіричні формули.

3. Експериментальним шляхом встановлено залежність проникності вологого ґрунту з певним внутрішнім тиском від часу витримки під навантаженням. Виконані експериментальні дослідження фільтраційних характеристик ґрунтів дозволили встановити їх залежність від зовнішніх і внутрішніх факторів: внутрішнього тиску ґрунту, його вологості, щільності та гранулометричного складу. Отримано відповідні емпіричні залежності.

4. Результати проведених досліджень дозволили встановити загальні закономірності формування ареалу загазованості довкілля аварійними витіками з газопроводів, співставлення яких з відомими вказують на суттєві розбіжності. Встановлені закономірності покладено в основу розробленої комплексної

галузевої методики «Методи прогнозування режимів газотранспортної системи в умовах неповного завантаження і підрахунку запасів газу в трубах», прийнятої до використання на об'єктах АТ «Укртрансгаз».

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Грудз Я.В., Дрінь Н.Я., Шологон В.Д., Стасюк Р.Б., Мартинюк Р.Т. Дослідження впливу температурного режиму газопроводів на енергоефективність транспорту газу. *Нафтогазова енергетика*. 2011. № 2. С. 43-47. **(наукове фахове видання України)**.

2. Грудз В.Я., Грудз Я.В., Фейчук В.В., Дрінь Н.Я., Стасюк Р.Б. Математичне моделювання фільтрації газу в ґрунті внаслідок виникнення малих витоків в газопроводі. *Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ*. 2011. №3(40). С. 66-69. **(наукове фахове видання України)**.

3. Грудз Я. В., Дрінь Н.Я., Фейчук В.В. Статистична оцінка втрат газу в розподільних мережах. *Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ*. 2012. № 2(43). С. 106-112. **(наукове фахове видання України)**.

4. Дрінь Н. Я., Стасюк Р.Б. Оцінка матеріального балансу газопроводу в умовах нестаціонарного газоспоживання. *Науковий вісник Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу*. 2012. № 2. С. 105-106. **(наукове фахове видання України)**.

5. Grudz V.Ya., Grudz Ya.V., Drin N.Ya., Stasiuk R. B. The research of gas leak from the pipeline . *Journal of hydrocarbon power engineering*. 2014. Vol. 1. № 2. P. 103-107. **(наукове фахове видання України)**.

6. Грудз В.Я., Грудз Я.В., Дрінь Н.Я., Стасюк Р.Б. Дослідження процесу фільтрації газу в ґрунті у разі появи витоків із газопроводу. *Нафтогазова енергетика*. 2014. №1(21). С. 70-74. **(наукове фахове видання України)**.

7. Грудз В.Я., Грудз Я.В., Дрінь Н.Я., Дем'янчук Я.М. Вплив фільтраційного опору ґрунту на інтенсивність аварійних витоків із газопроводу. *Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ*. 2015. №2(55). С. 68-73. **(наукове фахове видання України)**.

8. Грудз В.Я., Запукляк В.Б., Грудз В.Я.(молодший), Побережний Л.Я., Дрінь Н.Я., Стасюк Р.Б. Прогнозування потенційних ризиків виникнення витоків на газопроводах. *Вісник Тернопільського національного технічного університету*. 2019. №4. С. 78-81. **(Index Copernicus International)**

9. Дрінь Н.Я. Оценивание величины потерь газа и площади загрязнения при повреждении магистрального газопровода. *Надежность безопасность магистрального трубопроводного транспорта*. Материалы 7 международной научно-технической конференции, г. Новополоцк, 22-25 Ноября 2011 г. Новополоцк, 2011. С. 20-22.

АНОТАЦІЯ

Дрінь Н. Я. Оцінка втрат газу при трубопровідному транспорті і формування ареалу загазованості довкілля. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.15.13 – трубопровідний транспорт, нафтогазосховища. – Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, Івано-Франківськ, 2020.

Побудовано двовимірну нестационарну математичну модель фільтрації газу в пористому середовищі при появі точкового аварійного витoku газу з газопроводу. Встановлено закономірності процесу витікання газу з газопроводу в умовах протидії тиском, створеним за рахунок фільтраційного опору пористого середовища. Проведено та отримали результати дослідження фільтраційних характеристик ґрунтів і їх залежностей від зовнішніх і внутрішніх факторів. Серед незалежних факторів, які мають вплив на величину коефіцієнта проникності ґрунту, були вибрані внутрішній тиск ґрунту, його вологість, щільність сухого ґрунту і діаметр гранул. Експериментальним шляхом встановлено залежність проникності вологого ґрунту з певним внутрішнім тиском від часу витримки під навантаженням. Отримано відповідні емпіричні залежності. Результати проведених досліджень дозволили встановити загальні закономірності формування ареалу загазованості довкілля аварійними витокami з газопроводів, які покладено в основу принципів удосконалення методів оцінки втрат газу внаслідок появи аварійних витоків з газопроводів.

Ключові слова: газотранспортна система, аварійні витoki газу, втрати газу при транспорті, фільтрація, ареал загазованості.

АННОТАЦИЯ

Дринь Н.Я. Оценка потерь газа при трубопроводном транспорте и формирование ареала загазованности окружающей среды. – Квалификационный научный труд на правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.15.13 – трубопроводный транспорт, нефтегазохранилища. – Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа, Ивано-Франковск, 2020.

Построено двумерную нестационарную математическую модель фильтрации газа в пористой среде при появлении точечной аварийной утечки газа из газопровода. Установлены закономерности процесса утечки газа из газопровода в условиях противодействия давлением, созданным за счет фильтрационного сопротивления пористой среды. Проведения и получили результаты исследования фильтрационных характеристик ґрунтов и их зависимостей от внешних и внутренних факторов. Среди независимых

факторов, влияющих на величину коэффициента проницаемости почвы, были выбраны внутреннее давление грунта, его влажность, плотность сухого грунта и диаметр гранул. Экспериментальным путем установлено зависимость проницаемости влажной почвы с определенным внутренним давлением от времени выдержки под нагрузкой. Получены соответствующие эмпирические зависимости. Результаты проведенных исследований позволили установить общие закономерности формирования ареала загазованности окружающей среды аварийными утечками из газопроводов, которые положены в основу принципов совершенствования методов оценки потерь вследствие появления аварийных утечек из газопроводов.

Ключевые слова: газотранспортная система, аварийные утечки газа, потери газа при транспорте, фильтрация, ареал загазованности.

ANNOTATION

Drin Nataliya Yaroslavivna. The Assessment of Gas Loss in Pipeline Transportation and the Formation of Gas Pollution Area of the Environment. – Qualified Scientific Work on the Rights of the Manuscript.

The dissertation on reception of a scientific degree of the Candidate of Technical Sciences (PhD) in the specialty 05.15.13 – pipeline transportation, oil and gas storages. – Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, Ministry of Education and Science of Ukraine, Ivano-Frankivsk, 2020.

The influence of temperature complex gas systems large extent on the energy consumption for transportation of gas. Research conducted over the developed mathematical models of stationary motion of gas in gas transmission systems taking into account the compression flow of the CS and its subsequent cooling. It is shown that the optimal degree of cooling gas at CS determined by the cost of power to gas transmission pipelines and cooling gas flow. As a result of the calculations are given advice on choosing the characteristics of complex modes of gas transmission systems taking into account the cooling gas at CS after compression.

The article deals with the two-dimensional mathematical model of non-stationary gas filtration in porous environment (ground) caused by the gas pipeline pinhole leakage which is simulated by Dirac function. The mathematical model is based on Darcy's equation and flow continuity equation. The algorithm of the mathematical model implementation is developed. The computational solutions for different conditions are obtained. The author analyses the achieved solutions, which show common factors of the underground gas filtration process. The duration of the process of gas reaching the ground surface and the concurrent area of the underground gas contamination are described.

Corrosion processes lead to formation of cracks in the pipelines. The leaks form gas-polluted areas in the ground that are characterized by geometric dimensions and duration. At the same time, the leaks may exist in the low and middle pressure pipelines due to low flow rate and little pressure drop for a long time before they are

discovered. This causes significant gas leaks on one hand and creates a danger for the pipeline maintenance on the other hand.

That's why, from a practical standpoint it is important to forecast the gas filtration process duration prior to its emergence on the ground surface, radius of the gas-polluted area, and also the nature and the amount of the gas released into the atmosphere.

The article deals with the process of non-stationary gas filtration in the soil caused by emergence of pipeline emergency leak. It is suggested to calculate the first and second stages of non-stationary filtration in the process of gas pollution area formation. Calculation dependencies to forecast the pressure distribution field formation in a porous medium for each phase of non-stationary filtration were obtained on the basis of the mathematical models. The nature of the leak mass-flow rate change during the process of non-stationary filtration is determined and the way the soil properties (including its permeability) influence the duration of the non-stationary process and leak flow rate is shown. Some corrections for the well-known Saint-Venant-Wenzel formula with the limit of its adaptation were made on the basis of comparison of analytical results with the real ones.

It was revealed, that under the pipelines corrosion damage the insufficient leaks are the most possible, and in accidents caused by the influence of the external forces sufficient leaks are the most probable. The appearance of the gas leak from the gas-pipe is generally known to be caused by the non-stationary process according to the nature of which the leak amount can be estimated. If the gas-pipe before the appearance of leak has been operating in the non-stationary regime, the appearance of leak will result in disturbing in the non-stationary process. To reveal the leak the pumping over flow is modeled in the place of leak basing on the determination approach as well as its duration relatively the sizes of the leak.

The available determination mathematic models for revealing the leaks need information on the amount of losses of the leak and geometric sizes of the accident hole, which is not available in the moment of accident. That is why the model, which makes possible to predict the amount of leak in whole in all types of failures and some reasons of failures basing on the statistic data have been developed in the paper. It makes possible to choose the most efficient solutions for the diagnostics and preventing the leaks in the main pipelines.

This PhD thesis deals with the construction of a two-dimensional unsteady mathematical model of gas filtration in a porous medium under conditions of a pinhole emergency gas pipeline leak. It establishes the regularities of gas pipeline leaks under pressure made by the flow resistance coefficient of the porous medium.

It conducts and provides with the research results on soil filtration properties and their dependency on external and internal factors. The independent factors affecting permeability of soils include internal soil pressure, its humidity, dry soil density and granule diameter.

This PhD thesis determines by an experimental method the dependency of wet soil permeability with a definite internal pressure on the holding time at load. The relevant empirical dependences have been obtained.

The survey findings have allowed establish general regularities for the formation of gas pollution area of the environment with emergency gas pipeline leaks pipeline leaks, underlying the principles for improving the assessment methods of gas loss due to emergency gas pipeline leaks.

Key words: gas transportation system, emergency gas pipeline leaks, gas loss in transportation, filtration, gas pollution area.