

Визначення економічних втрат газотранспортних підприємств від виникнення аварійних ситуацій на магістральних газопроводах

Determination of Economic Losses of Gas Transportation Companies from Accidents on Gas Transmission Pipelines

Любомир Сопільник¹, Руслан Скриньковський¹, Віталій Лозован², Володимир Юзевич², Гжегож Павловські³

Lyubomyr Sopilnyk, Ruslan Skrynkovsky, Vitalii Lozovan, Volodymyr Yuzevych, Grzegorz Pawlowski

¹ *Lviv University of Business and Law*

99 Kulparkivska Street, Lviv, 79021, Ukraine

² *Karpenko Physico-Mechanical Institute of the NAS of Ukraine*

Naukova Street, 5, Lviv, 79601, Ukraine

³ *Zaklad Handlowo-Uslugowy BHP*

17 Kostrzynska Street, Gorzyca, 69-113, Poland

DOI: [10.22178/pos.42-4](https://doi.org/10.22178/pos.42-4)

JEL Classification:
L59, L95, M21

Received 25.12.2018
Accepted 25.01.2019
Published online 31.01.2019

Corresponding Author:
Ruslan Skrynkovsky
uan_lviv@ukr.net

Анотація. Проведено відбір інформації для впорядкування теоретичних положень та розробки практичних рекомендацій щодо визначення економічних втрат газотранспортних підприємств від виникнення аварій та відмов на магістральних газопроводах, спричинених зокрема корозійним руйнуванням трубопроводу.

Розглянуто класифікацію втрат, які зумовлені впливом корозії на лінійну частину магістральних газопроводів. З'ясовано, що структуру втрат газотранспортних підприємств від корозії при експлуатації лінійної частини магістральних газопроводів складають: витрати на захист елементів конструкцій від корозії; втрати від корозії металів.

Доведено, що розмір економічних втрат від аварії та відмов на магістральних газопроводах значною мірою залежить від якості застосовуваної системи протикорозійного захисту (заходів, методів, способів і засобів контролю), а також від дотримання правил безпечної експлуатації.

Запропоновано методику розрахунку економічних втрат, викликаних аваріями та відмовами на газопроводах (з урахуванням вартості компенсації втрат від забруднення навколишнього середовища), яка враховує підхід нейронних мереж і має переваги над існуючими, оскільки характеризує: нелінійний критерій якості; вплив енергетичних характеристик міжфазних шарів і агресивного середовища на корозійні процеси в металі; нелінійний характер системи моніторингу.

На основі нейронних мереж розроблено метод контролю параметрів, що характеризують технічний стан металоконструкцій в нафтогазовій промисловості, з урахуванням нелінійної моделі для оптимізації інформаційних та фінансових потоків. Підхід нейронних мереж дозволяє зменшити похибки щодо оцінювання параметрів нелінійної моделі, яка описує систему моніторингу підземних трубопроводів.

Ключові слова: газотранспортні підприємства; газопровід; аварії; економічні витрати; втрати; корозія; протикорозійний захист; нейронна мережа.

Abstract. Selection of information was conducted to streamline the theoretical provisions and develop practical recommendations for determining the economic losses of gas transportation companies from accidents and failures on gas transmission pipelines, caused, in particular, by corrosion damage to a pipeline.

The classification of losses due to the influence of corrosion on the linear part of gas transmission pipelines was considered. It was clarified that the structure of losses of gas transportation enterprises from corrosion during the operation of the linear part of gas transmission pipelines includes the cost of protecting the elements of structures from corrosion; losses from corrosion of metals. It was proved that the size of economic losses from accidents and failures on gas transmission pipelines to a large extent depends on the quality of the anti-corrosion protection system (measures, methods, ways and means of control), and also on observance of the rules of safe operation.

The method of calculating economic losses, caused by accidents and failures on gas pipelines (taking into account the cost of compensation for losses from environmental pollution) is proposed, which takes into account the approach of neural networks and has advantages over the existing ones, as it characterizes: nonlinear quality criterion; the influence of energy characteristics of the interphase layers and aggressive agents on the corrosion processes in metal; nonlinear character of the monitoring system.

On the basis of neural networks, a method of controlling the parameters, characterizing the technical state of steel structures in the oil and gas industry was developed, taking into account the nonlinear model for optimizing information and financial flows. The approach of neural networks can reduce errors in estimating the parameters of a nonlinear model that describes the system for monitoring underground pipelines.

Keywords: gas transportation companies; gas pipeline; accidents; economic costs; loss; corrosion; anti-corrosion protection; neural network.

© 2019 The Authors. This article is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 License 

ВСТУП

Проблема забезпечення високої експлуатаційної надійності магістральних газопроводів України має досить важливе значення, оскільки більша їх частина експлуатується протягом тривалого часу і вже вичерпала свій нормативний ресурс. Така ситуація може призвести (призводить) до виникнення аварій та відмов на магістральних газопроводах, що супроводжується значними економічними втратами для газотранспортних підприємств.

Аналіз останніх досліджень і публікацій свідчить про те, що деякі аспекти (економічні втрати, екологічні наслідки та основні причини), пов'язаних з виникнення аварій та відмов на магістральних газопроводах, досліджували такі вчені та практики, як Р. Говдяк [6], Я. Грудз [8], І. Мазур [15], О. Мандрик [13, 14], В. Михалків [7], Є. Ревтюк [20], О. Тараєвський [25], І. Федорович [3] та інші. Водночас слід зазначити, що об'єктом гострих дискусій залишаються питання (методичні аспекти) щодо визначення економічних втрат від виникнення аварійних ситуацій на магістральних газопроводах (газотранспортних підприємств), спричинених зокрема корозійним руйнуванням трубопроводу, з урахуванням

екологічних наслідків. Все це обумовило актуальність і доцільність дослідження та визначило його тему.

Тому метою роботи є формування теоретичних положень та розробка практичних рекомендацій щодо визначення економічних втрат газотранспортних підприємств від виникнення аварій та відмов на магістральних газопроводах (з урахуванням вартості компенсації втрат від забруднення навколишнього середовища).

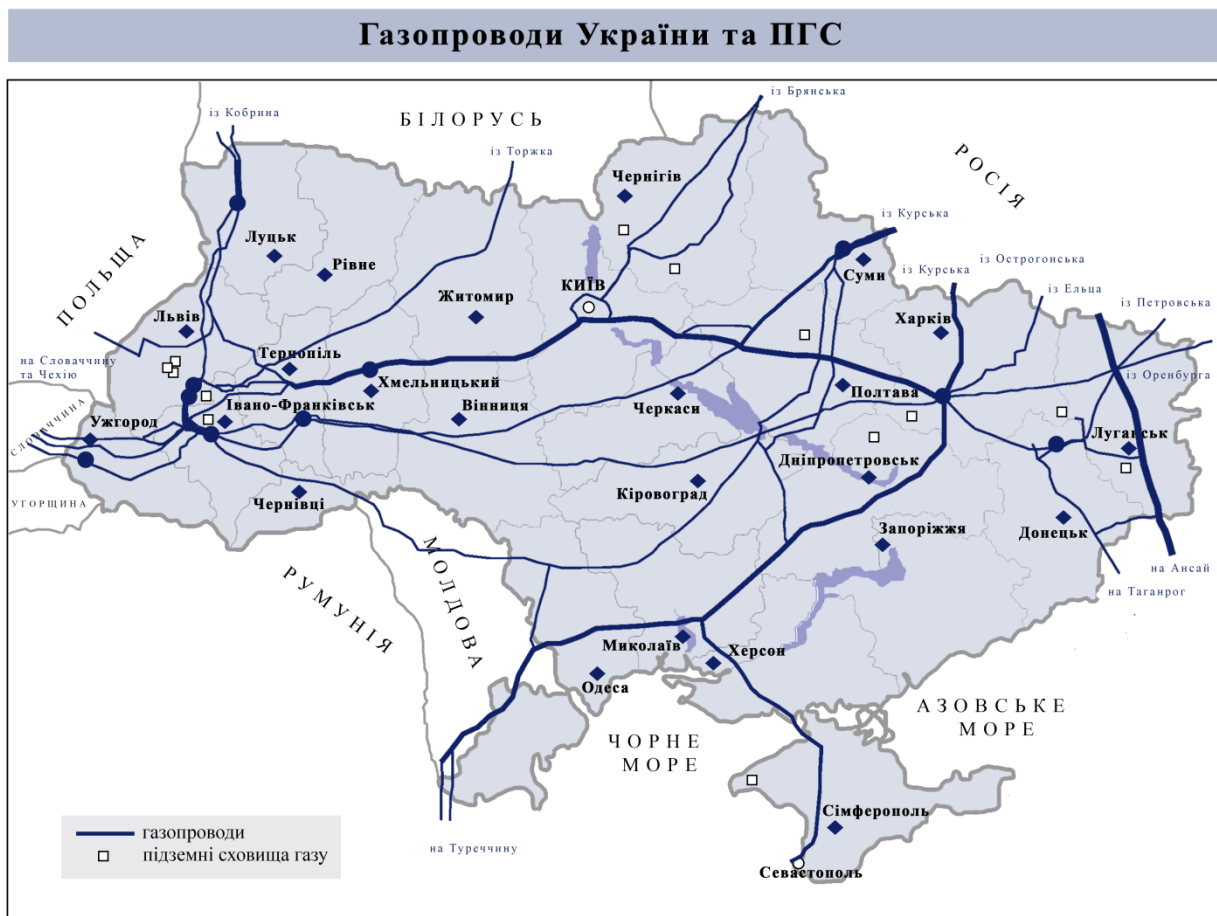
РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

На основі результатів аналізу літературних джерел [1, 2, 3, 4, 11, 14, 22, 25] встановлено, що:

1. У зв'язку із високим рівнем зношеності компонентів (складових) газотранспортної мережі (системи) та недосконалістю державного контролю за її безпекою, останніми роками спостерігається збільшення кількості аварійних ситуацій (аварій та відмов) на газопроводах України [1, 3, 4, 14]. Середній амортизаційний знос газотранспортної системи України (рис. 1), виходячи з аналітичних матеріалів [1], складає 61 %; майже 20 тис. км магістральних газопроводів (з 33,25 тис. км)

експлуатується понад 33 роки. Внаслідок корозії металу труби (газопроводу) збільшується кількість аварій на магістральних газопроводах: з 27 у 2013 р. до 34 в 2016 р. За період

2002–2008 рр. у ДК «Укртрансгаз» НАК «Нафтогаз України» з причини корозійного руйнування газопроводу виникло 119 відмов [1, 3].



ГАЗОТРАНСПОРТНА СИСТЕМА (ГТС) УКРАЇНИ

Магістральні газопроводи - 39,8 тис. км; 74 компресорні станції загальною потужністю 5 450 МВт.

Пропускна спроможність - на вході - 288 млрд м³,

у т.ч.: 142 млрд м³ - до країн Центральної і Західної Європи; 36,5 млрд м³ - до південних регіонів Росії,

Підземні сховища (ПГС) - 13 ПГС сумарною активною ємністю 32 млрд м³; мережу ПГС складають чотири комплекси:

Західноукраїнський, Київський, Донецький, Південноукраїнський.

Максимальний відбір - 250 млн. м³/добу.

Оператор ГТС - ДК «Укртрансгаз» (дочірня компанія НАК «Нафтогаз України»)

* Джерело: Національна безпека і оборона №6, 2010, с.14.

Рисунок 1 – Газотранспортна система (ГТС) України [4]

2. Експлуатаційна надійність, довговічність і економічна ефективність магістральних газопроводів (МГ) залежить від їх технічного стану [2, 25] і завантаженості, капітальних інвестицій та фінансування технічного обслуговування, в тому числі з урахуванням загрози припинення транзиту російського газу територією України [22].

Поряд з тим, результати досліджень [9, 25] дозволяють зробити висновок, що основними факторами негативного впливу на МГ, в основному, є такі:

- 1) механічні пошкодження (будівельною технікою і обладнанням, бурильними машинами, у результаті проведення вибухових робіт, внаслідок актів вандалізму тощо);
- 2) дефекти трубопроводів [9]: залежно від типу (дефекти форми, дефекти суцільності металу), за походженням (заводські, експлуатаційні та будівельні), за розміщенням (поверхневі, підповерхневі та наскрізні) та їх кількістю (поодинокі, парні та групові);

- 3) підземна і атмосферна корозія, внутрішня корозія та ерозія, стрес-корозія;
- 4) циклічні (повторно-змінні) навантаження, що призводять до втомного руйнування;
- 5) природно-кліматичні фактори (переміщення ґрунту внаслідок осідання, зсувів, розмиву, землетрусів або іншого стихійного лиха (процесів), обводнення траншеї);
- 6) порушення інструкцій, норм і правил (вимог) технічної експлуатації тощо [25].

Водночас, виходячи із наведеної діаграми [3] та аналітичних матеріалів [1], виявлено, що:

- 1) основною причиною (понад 50 %) виникнення інцидентів (аварій та відмов) на МГ є корозія металу труби;
- 2) аварії та відмови на лінійній частині (ЛЧ) МГ призводять до: втрат природного газу; витрат, пов'язаних із здійсненням ліквідаційних і ремонтно-відновних робіт (включаючи додаткові витрати, пов'язаних з ускладненими умовами роботи та зростанням небезпеки для обслуговуючого персоналу); витрат, пов'язаних із недопостачанням газу тощо. У праці [3] зазначено, що величина обсягу недопоставленого газу в даний час фіксується досить рідко і не використовується інформаційно-аналітичними службами газотранспортних підприємств в економічних розрахунках.

З урахуванням цього варто погодитись з актуальною і важливою думкою науковців [3] про те, що структуру економічних втрат газотранспортних підприємств, пов'язаних з корозією металу, складають (або формують) такі основні втрати від корозії при експлуатації ЛЧ МГ:

- 1) витрати на захист від корозії (витрати на електрохімічний захист; витрати на протикорозійні покриття; витрати на ремонтно-відновні роботи);
- 2) втрати від корозії металів:
 - прямі втрати (недоамортизація газопроводів та складових ЛЧ; вартість деталей та вузлів, втрачених у результаті корозії; витрати на проведення позапланових ремонтів через корозію; витрати на експлуатацію додаткових, у порівнянні з проектом, засобів протикорозійного захисту);
 - непрямі втрати (втрати, пов'язані з недопостачанням природного газу внаслідок аварій та відмов; втрати від простоювання газопроводів у ремонті; зниження якості та брак

продукції; відшкодування збитків за забруднення навколишнього середовища).

Крім цього, у межах дослідження праці [2], з'ясовано, що сумарні (або сукупні) витрати на протикорозійний захист на конкретній (визначеній) ділянці газопроводу (газотранспортних підприємств) визначаються на основі фактичного співвідношення нанесених видів ізоляції (або проектного співвідношення намічених для застосування конструкцій і видів ізоляції) і розраховують за формулою (1):

$$Q_3 = L(q_1 l_1 + q_2 l_2 + \dots + q_n l_n), \quad (1)$$

де L – протяжність ділянки газопроводу;

q_1, q_2, \dots, q_n – сукупні витрати по кожній з порівнюваних конструкцій і видів покриття;

l_1, l_2, \dots, l_n – питома вага різних конструкцій і видів ізоляції на ділянці газопроводу [2].

Звідси очевидно, що розмір втрат від аварії та відмов на МГ значною мірою залежить від: 1) якості застосовуваної системи протикорозійного захисту (заходів, методів, способів і засобів контролю) [3, 5, 25, 26, 27]; 2) від дотримання правил безпечної експлуатації МГ [5]. Тут важливе місце належить пошуку оптимального вирішення проблеми діагностування стану поверхневих шарів металу підземних трубопроводів з урахуванням впливу корозійного середовища за допомогою штучних нейронних мереж (ШНМ) [5, 12, 17].

Застосування ШНМ в неруйнівному контролі підземних трубопроводів містить значний потенціал для підвищення достовірності результатів обстежень та поглиблення наукових досліджень за даним напрямком [5, 12, 17].

З огляду на зазначені завдання контролю технічного стану матеріалів і елементів конструкцій у галузі трубопровідного транспорту запропонована методологія ШНМ може застосовуватись для [12, 24, 28]:

- встановлення взаємозв'язків між фізико-механічними характеристиками металоконструкцій та мікроструктурним станом матеріалу;
- удосконалення нормативних документів у сфері метрології;

- удосконалення протикорозійного захисту трубопроводів (газопроводів) з урахуванням нелінійного критерію якості;
- розроблення методів контролю параметрів, що характеризують технічний стан металоконструкцій в нафтовій і газовій промисловості, з урахуванням нелінійної моделі для оптимізації інформаційних та фінансових потоків.

Таким чином, інформаційно-статистична модель визначення економічних втрат від виникнення аварійних ситуацій (аварій та відмов) на магістральних газопроводах (з урахуванням вартості компенсації втрат від забруднення навколишнього середовища) буде визначатися чотиривимірною лінійною функцією регресії – формула (2):

$$Y = (C_1L + C_2V + C_3T) + (C_4M), \quad (2)$$

де C_1 – вартість заміни одиниці довжини газопроводу певного діаметра, грн/м;

L – довжина заміненої ділянки газопроводу, м;

C_2 – вартість одиниці втраченого газу, грн/1000 м³;

V – обсяг втраченого газу, млн. м³;

C_3 – вартість одиниці часу, витраченого на ліквідацію аварійної ситуації, грн/год.;

T – час на ліквідацію аварійної ситуації, год.;

C_4 – вартість компенсації втрат від забруднення навколишнього середовища, грн/т;

C_4M – обсяг екологічних збитків, тис. грн. [3].

Тут варто зазначити [3]: 1) складність (проблема) обчислення величини втрат Y полягає в тому, що в сучасній економічній ситуації (особливо внаслідок дефіциту металу та обмеженості матеріальних і фінансових ресурсів) для різних газотранспортних підприємств мають місце різні фінансові коефіцієнти C_1 , C_2 , C_3 та C_4 , які змінюються протягом років; 2) натуральні складові (параметри) величини фінансових втрат L , V , T і M безпосередньо залежать від діаметра аварійної труби (газопроводу) та виду (масштабу) аварійної ситуації.

Звідси очевидно, підтримуючи думку науковців [3], що для отримання об'єктивної інформації щодо кінцевої річної величини втрат необхідно визначити втрати Y на різних газо-

проводах (газотранспортного підприємства) з розрахунком відповідних структурних складових (див. формулу (2)), а результати просумувати. З огляду на вищезазначене з'ясовано, що величину річних втрат доцільно визначити за формулою (3):

$$Y_p = \sum_{i=1}^n \left((C_{1i}L_i + C_{2i}V_i + C_{3i}T_i) + (C_{4i}M_i) \right), \quad (3)$$

де i – кількість ділянок, на яких виникли аварійні ситуації (аварії або відмови);

C_{1i} , C_{2i} , C_{3i} , C_{4i} – відповідно фінансові коефіцієнти, які обчислюються (визначаються) для кожної аварійної ділянки (газотранспортного підприємства) для всіх діаметрів газопроводів [3].

Тут найбільшу абсолютну величину має фінансовий коефіцієнт C_1 (вартість заміни одиниці довжини газопроводу певного діаметра, грн/м). Фінансовий коефіцієнт C_2 становить 0,8...5,0 % від C_1 , коефіцієнт C_3 – 16...70 % від C_1 [3, 23]. Коефіцієнт C_4 [3, 16, 18, 19]: 1) безпосередньо залежить від обсягу витраченого газу, який у свою чергу є функцією часу, геометричних розмірів аварійної ділянки і способу забруднення атмосфери (викид чи горіння); 2) розраховується за формулою (4):

$$C_4 = H \cdot K = H \cdot (K_n \cdot K_m), \quad (4)$$

де H – проіндексований норматив збору, грн/т;

K – коефіцієнт, що враховує територіальні соціально-екологічні особливості, включає K_n та K_m ;

K_n – коефіцієнт, який встановлюється залежно від чисельності жителів населеного пункту;

K_m – коефіцієнт, який визначається залежно від народногосподарського значення населеного пункту [16].

Водночас у праці [3] зазначено, що:

1. У результаті розгерметизації (втрата герметичності корпусу або будь-якої системи) МГ в атмосферу надходять такі забруднюючі речовини, як метан (природний безбарвний газ без запаху, хімічна формула – CH_4), що розраховується за формулою (5):

$$M_1 = M(CH_4) = V \cdot \rho, \quad (5)$$

де V – об'єм витраченого газу, м³; $\rho = 0,7$ – густина газу (метану), кг/м³.

У таблиці 1 наведено допоміжну інформацію про забруднювачі та групи виділених ними в атмосферу шкідливих речовин (полютантів).

Таблиця 1 – Головні забруднювачі атмосфери (повітря) [10]

Група полютантів	Член групи, хімічний склад	Головний забруднювач
Оксиди вуглецю – 50 %	CO ₂	Вулкани, гейзери, гори. Спалювання всіх видів палива. Дихання і біоокислення.
	CO	Вулкани. Неповне спалювання палива.
Оксиди сірки – 16 %	SO ₂ , SO ₃	Вулкани. Спалювання палива. Бактерії. Морські бризи.
Оксиди азоту – 14 %	NO, NO ₂ , N ₂ O	Вулкани, грози. Спалювання палива. Хімічна промисловість. Бактерії.
Усі вуглеводи – 14 %	CH ₄ , C _n H _m , ...	Вулкани. Бактерії. Рослини. Спалювання палива. Промисловість.
У тому числі леткі органічні сполуки	CH ₂ O, CHCl, CFCl ₂ та ін.	Хімічна промисловість. Спалювання сміття.
Аерозолі – 5 %	Сажа, пил, солі	Коксохімія і металургія. Спалювання. Пожежі. Ерозія. Вулкани і водняний пил з морської піни.
Радіонукліди – менше 0,01 %	Xe, Cs, Ra, Pu та ін.	Ядерна промисловість і АЕС. Катастрофа на ЧАЕС. Граніти.

2. Якщо газ згорів, то виділяються діоксиди азоту (NO_x), оксид вуглецю (CO), неметанові леткі органічні сполуки, які розраховуються за формулою (6):

$$M_2 = V \cdot \rho \cdot K_i \cdot Q, \quad (6)$$

де K_i – інтегральний показник емісії забруднюючих речовин, г/ГДж (NO_x = 70 г/ГДж, CO = 90 г/ГДж, неметанові леткі органічні сполуки = 5,0 г/ГДж); Q – нижча теплотворна здатність паливного газу (за даними лабораторних досліджень або прийнята 47,850 МДж/кг) [3].

Таким чином, величина прибутку газотранспортного підприємства (ГТП) обернено пропорційна інтегральному параметру $C_4M = C_4(M_1 + M_2)$, який характеризує залежність шкідливого його (ГТП) впливу на навколишнє середовище.

Запропонована методика розрахунку економічних втрат, викликаних відмовами та аваріями на підземних трубопроводах, враховує підхід нейронних мереж, співвідношення (1)-

(6), і має переваги над існуючими [3, 25], оскільки характеризує:

- 1) нелінійний критерій якості [26];
- 2) вплив енергетичних характеристик міжфазних шарів і агресивного середовища на корозійні процеси в металі [27];
- 3) нелінійний характер системи моніторингу [5, 21].

Підхід нейронних мереж дозволяє зменшити похибки щодо оцінювання параметрів нелінійної моделі, яка описує систему моніторингу підземних трубопроводів.

Проведені дослідження є продовженням попередніх, зокрема [3, 12, 25], і мають перспективу врахувати:

- 1) інвестиційні фінансові проекти, аналогічно як у [17];
- 2) підхід до побудови інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень в задачах модернізації трубопроводів (газопроводів) [28];
- 3) порівняння електромагнітного та акустичного підходів щодо розроблення ефективних методів фінансового та інформаційного менеджменту у нафтогазовій сфері [21, 26, 28].

ВИСНОВКИ

1. У зв'язку із високим рівнем зношеності компонентів газотранспортної системи України (складає 61 %) та недосконалістю державного контролю за її безпекою, останніми роками спостерігається збільшення кількості аварійних ситуацій (аварій та відмов) на газопроводах. Основною причиною (понад 50 %) виникнення інцидентів (аварій та відмов) на магістральних газопроводах є корозія металу труби.
2. Структуру економічних втрат газотранспортних підприємств від корозії при експлуатації лінійну частину магістральних газопроводів складають: витрати на захист від корозії; втрати від корозії металів.
3. Розмір економічних втрат від аварії та відмов на магістральних газопроводах значною мірою залежить від якості застосовуваної системи протикорозійного захисту (заходів, методів, способів і засобів контролю), а також від дотримання правил безпечної експлуатації.
4. За сучасної економічної ситуації внаслідок дефіциту металу та недостатнього обсягу ін-

вестицій погіршується технічний стан об'єктів газотранспортної системи, збільшуються питомі і непродуктивні витрати матеріальних та енергетичних ресурсів.

5. На основі нейронних мереж розроблено метод контролю параметрів, що характеризують технічний стан металоконструкцій в нафтогазовій промисловості, з урахуванням нелінійної моделі для оптимізації інформаційних та фінансових потоків. Підхід нейронних мереж дозволяє зменшити похибки щодо оцінювання параметрів нелінійної моделі, яка описує систему моніторингу підземних трубопроводів.

6. Запропоновано методику розрахунку економічних втрат, викликаних відмовами та аваріями на підземних трубопроводах (газопроводах), яка має переваги над існуючими відомими, оскільки враховує підхід нейронних мереж, а також:

- нелінійний критерій якості;
- вплив енергетичних характеристик міжфазних шарів і агресивного середовища на корозійні процеси в металі;
- нелінійний характер системи моніторингу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ / REFERENCES

1. Dolinchuk, S. (2017, August 10). Opaliuvalnyi falstart: chomu zarano stverdzhuvaty pro hotovnist HTS do zymy [Heating false start: why it's too early to say that the GTS is ready for winter]. MIND UA. Retrieved from <https://mind.ua/publications/20175323-opalyuvalnij-falstart-chomu-zarano-stverdzhuvati-pro-gotovnist-gts-do-zimi> (in Ukrainian)
[Долінчук, С. (2017, Серпень 10). Опалювальний фальстарт: чому зарано стверджувати про готовність ГТС до зими. *MIND UA*. URL: <https://mind.ua/publications/20175323-opalyuvalnij-falstart-chomu-zarano-stverdzhuvati-pro-gotovnist-gts-do-zimi>].
2. Fedorovych, I. (2011). Innovatsii v systemi zakhystu liniinoi chastyny mahistralnykh hazoprovodiv ta yikh ekonomichne obgruntuvannia [Innovations in the system of protection of the linear part of main gas pipelines and their economic substantiation]. *Naukovyi visnyk Ivano-Frankivskoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu nafty i hazu*, 4, 45–50 (in Ukrainian)
[Федорович, І. (2011). Інновації в системі захисту лінійної частини магістральних газопроводів та їх економічне обґрунтування. *Науковий вісник Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу*, 4, 45–50].
3. Fedorovych, I., & Horal, L. (2010). *Metodychni aspekty vyznachennia ekonomichnykh vtrat vid vynyknennia avarii ta vidmov na mahistralnykh hazoprovodakh* [Methodological aspects of determination of economic losses from occurrence of accidents and failures on main gas pipelines]. *Zbirnyk naukovykh prats NUK*, 5, 150–155 (in Ukrainian)
[Федорович, І., & Гораль, Л. (2010). Методичні аспекти визначення економічних втрат від виникнення аварій та відмов на магістральних газопроводах. *Збірник наукових праць НУК*, 5, 150–155].

4. Frantsuzov, O. (2016, November 11). 2019 – krytychnyi rik dlia ukrainskoi HTS [2019 - a critical year for the Ukrainian GTS]. *Tsenzor.NET*. Retrieved from https://sensor.net.ua/ua/resonance/414501/2019_krytychnyyi_rik_dlya_ukrayinskoyi_gts [Французов, О. (2016, Листопад 11). 2019 – критичний рік для української ГТС. *Цензор.НЕТ*. URL: https://sensor.net.ua/ua/resonance/414501/2019_krytychnyyi_rik_dlya_ukrayinskoyi_gts].
5. Golshan, M., Ghavamian, A., Moohammed, A., & Abdulshaheed, A. (2016). *Pipeline Monitoring System by Using Wireless Sensor Network*. *Journal of Mechanical and Civil Engineering*, 13(3), 43–53.
6. Hovdiak, R., & Kosnyriev, Yu. (2007). *Kilkisnyi analiz avariinoho ryzyku hazotransportnykh ob'ektiv pidvyshchenoi nebezpeky* [Quantitative analysis of the hazardous risk of gas transport objects of high danger]. Lviv: n. d. (in Ukrainian) [Говдяк, Р., & Коснирєв, Ю. (2007). *Кількісний аналіз аварійного ризику газотранспортних об'єктів підвищеної небезпеки*. Львів: н. д.].
7. Hrudz, V. (2009). *Obsluhovuvannia i remont hazoprovodiv* [Maintenance and repair of gas pipelines]. Ivano-Frankivsk: Lileia-NV (in Ukrainian) [Грудз, В. (2009). *Обслуговування і ремонт газопроводів*. Івано-Франківськ: Лілея-НВ].
8. Hrudz, Ya. (2015). *Pryntsypy tekhniko-ekonomichnoi optymizatsii rozmishchennia remontno-eksploatatsiinykh pidrozdiliv u rehioni obsluhovuvannia hazoprovodiv* [Principles feasibility optimizing repair and operation units in the region of service gas pipeline]. *Efektivna ekonomika*, 2. Retrieved from <http://www.economy.nayka.com.ua/?op=1&z=3770> (in Ukrainian) [Грудз, Я. (2015). *Принципи техніко-економічної оптимізації розміщення ремонтно-експлуатаційних підрозділів у регіоні обслуговування газопроводів*. *Ефективна економіка*, 2. URL: <http://www.economy.nayka.com.ua/?op=1&z=3770>].
9. Hushchak, Zh., & Dobosh, U. (2013). *Defekty mahistralnykh hazoprovodiv* [Defects of main gas pipelines]. *Naukovi notatky*, 40, 339–342 (in Ukrainian) [Гущак, Ж., & Добош, У. (2013). *Дефекти магістральних газопроводів*. *Наукові нотатки*, 40, 339–342].
10. Korsak, K., & Plakhotnik, O. (2000). *Osnovy ekolohii* [Principles of Ecology]. Kyiv: MAUP (in Ukrainian) [Корсак, К., & Плахотнік, О. (2000). *Основи екології*. Київ: МАУП].
11. Kramar, R., Kovaliv, M., Yesimov, S., & Skrynkovskyy, R. (2018). The Specifics of Legal Regulation of Relations in the Field of Transportation of Oil and Gas by Trunk-Line. *Path of Science*, 4(2), 4001–4010. doi: <http://dx.doi.org/10.22178/pos.31-5>
12. Lozovan, V., & Yuzevych, V. (2017). *Neironni merezhi yak zasib udoskonalennia metrolohichnykh kharakterystyk metalokonstruktsii z urakhuvanniam mizhfaznykh shariv* [Neural networks as a means of improving metrological characteristics of steel structures taking into account interphase layers]. *Vymiriuvalna tekhnika ta metrolohiiia*, 78, 48–54 (in Ukrainian) [Лозован, В., & Юзевич, В. (2017). *Нейронні мережі як засіб удосконалення метрологічних характеристик металоконструкцій з урахуванням міжфазних шарів*. *Вимірювальна техніка та метрологія*, 78, 48–54].
13. Mandryk, O. (2013). *Ekolohichni ta ekonomichni naslidky avarii na mahistralnykh hazoprovodakh* [Ecological and economic consequences of accidents on main gas pipelines]. *Ekolohichna bezpeka ta zbalansovane resursokorystuvannia*, 1, 160–165 (in Ukrainian) [Мандрик, О. (2013). *Екологічні та економічні наслідки аварій на магістральних газопроводах*. *Екологічна безпека та збалансоване ресурсокористування*, 1, 160–165].
14. Mandryk, O. (2015). *Analiz prychn avariinykh sytuatsii ta ruinuvan mahistralnykh hazoprovodiv* [The Analysis of the Accidents Causes and Gas Mains Damage]. *Naukovyi visnyk NLTU Ukrainy*, 25(1), 155–162 (in Ukrainian) [Мандрик, О. (2015). *Аналіз причин аварійних ситуацій та руйнувань магістральних газопроводів*. *Науковий вісник НЛТУ України*, 25(1), 155–162].

15. Mazur, I., Ivancov, O., & Moldavanov, O. (1990). *Konstruktivnaja nadezhnost' i jekologicheskaja bezopasnost' truboprovodov* [Constructive reliability and environmental safety of pipelines]. Moscow: Nedra.
[Мазур, И., Иванцов, О., & Молдаванов, О. (1990). *Конструктивная надежность и экологическая безопасность трубопроводов*. Москва: Недра].
16. Metodyka rozrakhunku rozmiriv vidshkoduvannia zbytkiv, yaki zapodiiani derzhavi v rezultati nadnormatyvnykh vykydiv zabrudniuiuchykh rehovyn v atmosferne povitria [Method of calculating the amount of damages caused by the state as a result of excessive emissions of pollutants into the atmosphere] (Ukraine), 10 December 2008, No 639. Retrieved January 1, 2019, from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0048-09> (in Ukrainian)
[Методика розрахунку розмірів відшкодування збитків, які заподіяні державі в результаті наднормативних викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря (Україна), 10 грудня 2008, № 639. Актуально на 01.01.2019. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0048-09>].
17. Mozolevska, M., & Stavvytskyi, O. (2017). *Vykorystannia neuronnykh merezh dlia prohnozuvannia u finansovii sferi* [Use of neural networks for forecasting in the financial sphere]. *Aktualni problemy ekonomiky ta upravlinnia*, 11, 1–9 (in Ukrainian)
[Мозолевська, М., & Ставицький, О. (2017). Використання нейронних мереж для прогнозування у фінансовій сфері. *Актуальні проблеми економіки та управління*, 11, 1–9].
18. Pro okhoronu atmosferneho povitria [About the protection of atmospheric air] (Ukraine), 16 October 1992, No 2707-XII. Retrieved January 1, 2019, from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2707-12> (in Ukrainian)
[Про охорону атмосферного повітря (Україна), 16 жовтня 1992, № 2707-XII. Актуально на 01.01.2019. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2707-12>].
19. Pro okhoronu navkolyshnoho pryrodnoho seredovyscha [About the protection of the environment] (Ukraine), 25 June 1991, No 1264-XII. Retrieved January 1, 2019, from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1264-12>.
[Про охорону навколишнього природного середовища (Україна), 25 червня 1991, № 1264-XII. Актуально на 01.01.2019. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1264-12>].
20. Revtiuk, Ye., & Susak, O. (2010). *Osoblyvosti otsiniuvannia ryzykiv mahistralnoho truboprovodnoho transportu hazu* [Features of risk assessment of main pipeline gas transport]. *Naukovyi visnyk Ivano-Frankivskoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu nafty i hazu. Seriya Ekonomika ta upravlinnia v naftovii i hazovii promyslovosti*, 1, 1–6 (in Ukrainian)
[Ревтюк, Є., & Сусак, О. (2010). Особливості оцінювання ризиків магістрального трубопровідного транспорту газу. *Науковий вісник Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу. Серія Економіка та управління в нафтовій і газовій промисловості*, 1, 1–6].
21. Saifullin, E. R., Izmailova, E. V., & Ziganshin, S. G. (2017). Methods of Leak Search from Pipeline for Acoustic Signal Analysis. *Indian Journal of Science and Technology*, 10(1). doi: [10.17485/ijst/2017/v10i1/109953](https://doi.org/10.17485/ijst/2017/v10i1/109953)
22. Savenko, S. (2017, June 21). HTS truba ? Mahistralni hazoprovody mozhut staty kupoiu metalobrukhtu [GTS pipe? Trunk gas pipelines may become a bunch of scrap metal]. *Finance.ua*. retrieved from <https://news.finance.ua/ua/news/-/404789/gts-truba-magistralni-gazoprovody-mozhut-staty-kupoyu-metalobruhtu> (in Ukrainian)
[Савенко, С. (2017, Червень 21). ГТС труба ? Магістральні газопроводи можуть стати купую металобрухту. *Finance.ua*. URL: <https://news.finance.ua/ua/news/-/404789/gts-truba-magistralni-gazoprovody-mozhut-staty-kupoyu-metalobruhtu>].
23. Sedyh, A., Apostolov, A., & Kuchin, B. (2000). Informacionno-statisticheskaja model' finansovogo ushherba pri avarijah na MG [Information and statistical model of financial damage in case of accidents on MG]. *Gazovaja promyshlennost'*, 1, 35–36 (in Russian)

- [Седых, А., Апостолов, А., & Кучин, Б. (2000). Информационно-статистическая модель финансового ущерба при авариях на МГ. *Газовая промышленность*, 1, 35–36].
24. Skrynkovskyy, R., Leskiv, S., & Yuzevych, V. (2017). Development of Information Support of the Automated System for Monitoring the State of the Gas Transportation System's Industrial Safety. *Path of Science*, 3(8), 3028–3035. doi: [10.22178/pos.25-8](https://doi.org/10.22178/pos.25-8)
25. Taraievskiy, O. (2014). *Deiaki aspekty tekhnichnoho stanu mahistralnykh truboprovodiv iz urakhuvanniam yikh tryvaloï ekspluatatsii* [Some aspects of the technical condition of trunk pipelines, taking into account their long-term operation]. *Naftohazova haluz Ukrainy*, 2, 43–46 (in Ukrainian)
[Тараєвський, О. (2014). Деякі аспекти технічного стану магістральних трубопроводів із урахуванням їх тривалої експлуатації. *Нафтогазова галузь України*, 2, 43–46].
26. Yuzevych, L., Skrynkovskyy, R., & Koman, B. (2017). Development of information support of quality management of underground pipelines. *EUREKA: Physics and Engineering*, 4, 49–60. doi: [10.21303/2461-4262.2017.00392](https://doi.org/10.21303/2461-4262.2017.00392)
27. Yuzevych, V. M., Dzhala, R. M., & Koman, B. P. (2018). Analysis of Metal Corrosion under Conditions of Mechanical Impacts and Aggressive Environments. *Metallofizika i noveishie tekhnologii*, 39(12), 1655–1667. doi: [10.15407/mfint.39.12.1655](https://doi.org/10.15407/mfint.39.12.1655)
28. Yuzevych, V., Skrynkovskyy, R., & Koman, B. (2018). Intelligent Analysis of Data Systems for Defects in Underground Gas Pipeline. *2018 IEEE Second International Conference on Data Stream Mining & Processing (DSMP)*. doi: [10.1109/dsmp.2018.8478560](https://doi.org/10.1109/dsmp.2018.8478560)