

УДК 622.691.4

## ПРОГНОЗУВАННЯ АВАРІЙНИХ ВИТОКІВ З ТРУБОПРОВІДНИХ СИСТЕМ

**Я. В. Грудз, М. Я. Криль, Л. І. Мельницька,  
Н. Б. Слободян, С. Р. Стефанишин**

*Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу;  
76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15;  
e-mail: snp@nung.edu.ua*

*Розглядається можливість і доводиться доцільність прогнозування аварійних витоків з трубопровідних систем на основі статистичних методів дослідження.*

**Ключові слова:** аварійний витік, обсяг, статистичний аналіз, прогнозування.

Діагностування витоків на основі детермінованих математичних моделей вимагає інформацію про величину витрати витоків та розміри аварійного отвору, яка на момент часу виникнення витоків відсутня.

Статистика аварійних ситуацій на трубопроводах дозволяє кількісно оцінити ймовірності виникнення витоків в трубопроводах, а також визначити ймовірні їх розміри [1]. Крім того, аналіз подібних ситуацій дає можливість виявити ступінь впливу різноманітних факторів на ймовірність виникнення витоків і їх розміри. В ході статистичного аналізу було виявлено п'ять основних причин витоків:

- дефекти матеріалу, які можуть бути обумовлені як розвитком вже існуючих дефектів у вихідному матеріалі, так і дефектами, що утворилися в процесі виготовлення труб і споруд трубопроводів. До таких дефектів можуть, наприклад, ставитися дефекти зварювання, нашарованість і т. д.

- корозія, що викликає руйнування металу стінок трубопроводів в процесі їх експлуатації;

- помилки операторів в процесі експлуатації і технічного обслуговування трубопроводів;

- вплив зовнішніх сил, наприклад, землерийного устаткування;

- вплив навколишнього середовища. До цієї категорії причин відносяться такі явища, як осідання ґрунту, вимивання ґрунту в результаті сильних дощів і т. д.

Обробка статистичних даних [2] дозволила оцінити частоту виникнення витоків по кожній з причин окремо. В останні роки основними причинами витоків в західноєвропейських трубопроводах є дефекти матеріалу і корозія. Ймовірність виникнення витоків з цих причин при-

близко в 10 разів перевищує ймовірність виникнення витоків внаслідок впливу зовнішніх сил.

Подібний висновок суперечить раніше опублікованими матеріалами [3, 4, 5], згідно з якими найбільш імовірною причиною розривів трубопроводів є прямий вплив зовнішніх сил. Проте в середині 70-х років вплив зовнішніх сил дійсно було домінуючою причиною розривів трубопроводів. Однак в наступні роки переважаючими причинами аварій поступово стали дефекти матеріалу і корозія.

Дані свідчать про тенденцію до поступового збільшення загальної кількості витоків протягом 15 років, хоча ці зміни не такі істотні, як зміни кількості витоків по окремо взятих категоріям причин аварій.

Згідно з даними за останній п'ятирічний період експлуатації трубопроводів визначена ймовірність виникнення витоків по окремих категоріях причин.

<i>Дефекти матеріалу</i>	<i>14,7</i>
<i>Корозія</i>	<i>8,8</i>
<i>Помилки оператора</i>	<i>8,8</i>
<i>Вплив зовнішніх сил</i>	<i>2,0</i>
<i>Вплив навколишнього середовища</i>	<i>2,0</i>

Однією з характерних особливостей трубопровідного транспорту є ймовірність втрати дуже великої кількості продукту в разі виникнення витоків. При цьому можливо два підходи до оцінки можливих обсягів витоків. У першому випадку розміри можливих витоків оцінюються на основі статистичних даних за минулий період часу. У другому випадку використовується детермінований підхід, при якому моделюється потік перекачується в місці витoku і його тривалість стосовно конкретних розмірах витoku. В ході проведеного аналізу було обрано перший підхід, який спирається на статистику за минулий період часу.

Для того, щоб виявити залежність ймовірності виникнення витоків різних розмірів від перерахованих вище причин, всі витoki були розбиті на три категорії: невеликі (0-70 тис. м<sup>3</sup>/рік), середні (70-300 тис. м<sup>3</sup>/рік) і великі (понад 300 тис. м<sup>3</sup>/рік).

При корозійних пошкодженнях трубопроводів найбільш ймовірні малі витoki. Це пояснюється тим, що, наприклад, виразкова корозія супроводжується утворенням порівняно невеликих отворів у стінках трубопроводу, це і обмежує розміри витоків. При аваріях, обумовлених впливом зовнішніх сил, найбільш вірогідні великі витoki.

Хоча економічні, екологічні та соціальні наслідки витоків при трубопровідному транспорті визначаються насамперед розмірами цих витоків, це ще не означає, що, вживаючи заходів щодо запобігання витокам, необхідно перш за все мати на увазі такі причини, які призводять до виникнення найбільших витоків. Важливе значення має також частота повторення витоків, що відбулися з тієї чи іншої причини.

Так, якщо врахувати частоту повторення витоків, то виявиться, що ймовірність виникнення великих витоків внаслідок дефектів матеріалу вдвічі перевищує ймовірність виникнення таких же витоків з усіх причин, разом узятих. На наступному місці по ймовірності виникнення великих витоків стоїть вплив зовнішніх сил і помилки оператора.

Причина, по якій домінуючу роль у виникненні великих витоків грають дефекти матеріалу, може полягати в тому, що присутні в матеріалі тріщинноутворені дефекти можуть при аваріях поширюватися далеко за межі своїх початкових кордонів, що призводить до значних розривів трубопроводів.

Аналіз інформації такого роду дає можливість розробити метод прогнозування обсягів витоків в трубопроводах. У свою чергу прогнозування обсягів витоків на основі конкретної статистичної інформації дозволяє виділити напрямки створення методів моделювання та ідентифікації витоків, а також діапазони застосування цих методів. Це пояснюється тим, що «великі» і «малі» витокі необхідно ідентифікувати за допомогою різних математичних підходів, апаратури контролю і т.д.

Перша група складових збитків мінімізується підвищенням надійності експлуатації трубопроводу, тобто забезпеченням безвідмовності його функціонування. Однак екологічний збиток при цьому може залишатися на колишньому рівні. Дійсно, підвищення надійності енергопостачання, що перекачує обладнання, що є частою причиною зупинки перекачування, істотно покращує характеристики безвідмовності трубопроводу, але в меншій мірі знижує можливий екологічний збиток. У зв'язку з цим в рамках проблеми підвищення надійності трубопроводів доцільно виділити два аспекти – експлуатаційний і екологічний.

Як характеристики надійності експлуатації застосовують параметр потоку відмов, напрацювання до першої відмови і між послідовними відмовами. Для оцінки екологічної надійності представляється необхідним використовувати параметри, що дозволяють прогнозувати обсяги разових аварійних витоків, і сумарні (за певний період часу) витокі з прив'язкою до конкретних умов експлуатації (місцевості). Останнє зумовлює актуальність розробки методики прогнозування обсягу витoku в процесі експлуатації трубопроводів.

Один з можливих підходів до вирішення даної є метод прогнозування обсягів витоків на основі статистичних даних. Середнє значення об'єму витoku  $V$  і середньоквадратичне відхилення для ряду, що аналізується, дорівнюють відповідно:

$$V = \sum_{i=1}^k V_{ci} P_i \quad \sigma = \sqrt{\sum_{i=1}^k (V_{ci} - V)^2 P_i},$$

де  $k$  – число інтервалів у варіаційному ряду;  $V_{ci}$  – значення середини  $i$ -го інтервалу;  $P_i$  – емпірична ймовірність  $i$ -го інтервалу.

Коефіцієнт варіації, що представляє собою відносну (безрозмірну) характеристику розсіювання об'єму витоку, рівний

$$\gamma = \frac{\sigma}{V}.$$

За значенням коефіцієнта варіації висунемо гіпотезу, що розглянуті статистичні дані підпорядковуються закону Вейбулла, функція розподілу  $F(V)$  має вигляд

$$F(V) = 1 - b \exp\left[-\left(\frac{V}{a}\right)^b\right],$$

де  $a$  – параметр масштабу,  $b$  – параметр форми.

Перевірку гіпотези виконаємо за критерієм Пірсона  $\chi^2$ , що являє собою суму квадратів відхилень емпіричних та теоретичних частот в кожному інтервалі варіаційного ряду статистичної інформації. Теоретичну частоту в  $i$ -му інтервалі  $m_{\gamma i}$  можна визначити:

$$m_{\gamma i} = N[F(V_{ik}) - F(V_{ip})],$$

де  $N$  – число статистичних даних;  $F(V_{ik})$ ,  $F(V_{ip})$  – значення інтегральних функцій відповідно на початку та в кінці  $i$ -го інтервалу.

Таблиця 1. Варіаційний ряд об'ємів витоків

Номер інтервалу $i$	Інтервал групування <i>тис.м<sup>3</sup> / рік</i>	Середина інтервалу $V_{ci}, \tau$	Емпірична частота $m_i$	Емпірична ймовірність $P_i$	Розрахункові величини		
					Теоретична частота $m_{\gamma i}$	$m_i - m_{\gamma i}$	$\chi^2$
1	0-50	25	76	0.500	73	3.0	0.123
2	50-100	75	20	0.132	18.2	1.8	0.178
3	100-150	125	11	0.072	10.7	0.3	0.008
4	150-200	175	8	0.053	9.1	-1.1	0.133
5	200-250	225	6	0.039	5.3	0.7	0.093
6	250-300	275	5	0.033	4.4	0.6	0.082
7	300-400	350	8	0.053	7.0	1.0	0.143
8	400-600	500	7	0.046	8.1	-1.1	0.149
9	600-1000	800	5	0.033	7.7	-2.7	0.947
10	>1000	3000	6	0.039	8.5	-2.5	0.735
			152	1.000			2.591

Приведена побудова математичної моделі розподілу обсягів витоку здійснювалося на підставі статистичних даних за всіма видами відмов. Разом з тим, як показує практика експлуатації, питома вага конкретних причин відмов суттєво різняться. Відповідні їм обсяги витоків також різні.

З метою подальшого вдосконалення прогнозування обсягів витoku і підвищення надійності експлуатації трубопроводів необхідний диференційований облік впливу причин відмов на обсяг витоків.

Значна частка відмов пов'язана з дефектами матеріалів. Для виявлення математичної залежності розподілу величини витoku внаслідок дефектів матеріалів побудований інтервальний варіаційний ряд (табл. 2).

Таблиця 2. Інтервальний варіаційний ряд величин витоків внаслідок дефектів матеріалу

Номер інтервалу і	Інтервал групування <i>тис.м<sup>3</sup> / рік</i>	Середина інтервалу <i>V<sub>ci</sub>, τ</i>	Емпірична частота <i>m<sub>i</sub></i>	Емпірична ймовірність <i>P<sub>i</sub></i>	Розрахункові величини		
					Теоретична частота <i>m<sub>γi</sub></i>	<i>m<sub>i</sub> - m<sub>γi</sub></i>	<i>χ<sup>2</sup></i>
1	0-50	25	25	0.4	23.3	1.7	0.124
2	50-100	75	10	0.16	8.3	1.7	0.348
3	100-200	150	9	0.14	9.5	-0.5	0.026
4	200-300	250	7	0.11	5.7	1.3	0.297
5	300-500	400	5	0.08	6.4	-1.4	0.306
6	>500	1550	7	0.11	9.8	-2.8	0.80
	суми		63	1.00			1.901

На основі імовірісно-статистичного методу дослідження, виконаного на основі приведеної методики, визначено параметри емпіричного і теоретичного розподілів, величини яких подано в табл. 3.

Таблиця 3. Параметри емпіричного і теоретичного розподілів

Числові характеристики	Кількісні значення по відмовах		
	Дефект матеріалу	Корозія металу	Всі види відмов
Середній об'єм витoku	237	6,4	243,5
Середньоквадратичне відхилення,	462	5,5	582,3
Коефіцієнт варіації	2,39	6,8	2,39
Параметри теоретичного розподілу Вейбулла:			
Параметр <i>v</i>	0,6	1,2	0,5
Параметр <i>a</i>	180	6,8	120

Перевірка гіпотези про закон розподілу Вейбулла підтвердила можливість його використання для прогнозування обсягів витoku, диференційовано по відмовах, викликаним дефектами матеріалів і корозією.

Таким чином, можна відзначити, що запропоновані математичні моделі дозволяють прогнозувати обсяги витoku продукту в цілому по всіх видах відмов, а також по окремих причинах відмов. У свою чергу,

це дає можливість вибрати найбільш ефективні рішення для діагностики та запобігання витоків в магістральних трубопроводах.

### *Література*

1. Гончарук М.І. Аналіз причин втрат природного газу / М. І. Гончарук // Нафтова і газова промисловість. – 2003. – № 1. – С. 51-53.
2. Гухман А.А Введение в теорию подобия / А. А. Гухман. – М.: Высшая школа, 1973. – 254 с.
3. Грудз В.Я. Обслуживание газотранспортных систем / В.Я. Грудз, Д.Ф. Тымкив, Е.И. Яковлев. – К.: УМКВО,1991. – 159 с.
4. Грудз В.Я. Обслуговування і ремонт газопроводів / В.Я. Грудз, Д.Ф. Тимків, В.Б. Михалків та ін. – Івано-Франківськ: Лілея-НВ, 2009. – 711 с.
5. New concept single signature vibration monitoring through the lifetimes of an engine. – Aircraft Engineering, 1979, 51, 3, P. 21-22.

*Стаття надійшла до редакційної колегії 21.12.2017 р.  
Рекомендовано до друку д.т.н., професором Тимківим Д.Ф.  
д.т.н., професором Говдяком Р.М. (м. Київ)*

## FORECASTING EMERGENCIES FROM PIPELINE SYSTEMS

**Ya. V. Grudz, M. Ya. Kril, L. I. Melnitskaya,  
N. B. Slobodian, S. R. Stefanyshyn**

*Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas;  
76019, Ivano-Frankivsk, Carpathian str., 15;  
e-mail: snp@nung.edu.ua*

*The possibility and the expediency of prediction of emergency leaks from pipelines systems on the basis of statistical methods of research is considered.*

**Key words:** *emergency leakage, volume, statistical analysis, forecasting.*