

# Інформаційні технології

УДК 622.692.4

## ПРОГНОЗУВАННЯ ОБ'ЄМІВ ВТРАТ НАФТИ У ВИПАДКУ ВИНИКНЕННЯ АВАРІЙНОЇ СИТУАЦІЇ

**М. П. Возняк, Г. М. Кривенко, Л. В. Возняк**

*Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу;  
76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15;  
тел. +380 (3422) 4-00-98; e-mail: [gidro@nung.edu.ua](mailto:gidro@nung.edu.ua)*

*Магістральні нафтопроводи є об'єктами підвищеної небезпеки. Система магістральних нафтопроводів вступила в період відмов, що призводять до аварій. Здійснено прогнозування об'ємів можливих витікань нафти через дефектні отвори в тілі труби. Запропоновано комп'ютерне моделювання процесу витікання нафти для визначення напрямку течії і площі забрудненої території в залежності від об'єму нафти, що витекла, та рельєфу місцевості.*

**Ключові слова:** *нафтопровід, витрата, аварійна ситуація.*

Магістральні нафтопроводи України – це транспортні системи, які обслуговуються десятки років.

Прогнозування можливості виникнення аварійних ситуацій на об'єктах магістральних трубопроводів є актуальним, оскільки значна частина трубопроводів експлуатується понад двадцяти років. Сучасні методи внутрішньотрубної діагностики нафтопроводів за допомогою інтелектуальних поршнів дозволяють з високою точністю визначити місцезнаходження дефектів у тілі труби та їх розміри, які необхідно знати при прогнозуванні можливих витікань нафти при розриві труби в дефектних місцях та моделюванні розтікання нафти. При цьому трубопровід повинен розглядатися як одне ціле з місцевістю в околицях трубопроводу. Техногенна взаємодія нафтопроводів з довкіллям призводить до деградації природного середовища навіть за умов безаварійної експлуатації трубопроводів. Техногенні аварії є одними з найбільш екологічно небезпечних. І тому дуже важливим є їх попередження [1].

Значний термін експлуатації призводить до старіння матеріалу труб, появи корозійних явищ, що є причиною утворення дефектів різних форм і розмірів в тілі труби, які спричиняють виникнення аварійних ситуацій. Першочерговість та значення досліджень в області забезпечення

безпеки при експлуатації трубопровідного транспорту підкреслюється в Законі України “Про об’єкти підвищеної небезпеки” [2].

Прогноз ризику аварій – це процес виявлення небезпек і оцінка ризику аварій на об’єктах підвищеної небезпеки для людей, їх майна та довкілля.

Метою даної роботи є зменшення впливу магістральних нафтопроводів на довкілля шляхом прогнозування об’ємів можливих витікань нафти у разі виникнення аварійних ситуацій..

Вихідними даними для реалізації поставленої мети є: дефекти в тілі труби, виявлені при проходженні інтелектуального поршня.

Фактори, які впливають на екологічний ризик:

- прогнозована витрата рідини через наявні дефекти в тілі труби;
- площа забрудненої території.

Фактор, який впливає на технічний ризик:

- тиск в місці дефекту.

Втрати нафтопродуктів за їх фізичним станом можна розділити на втрати в газоподібному та рідкому стані, а за причинами утворення – на експлуатаційні та аварійні.

Виникнення експлуатаційних втрат пов’язане з технічною недосконалістю транспортування. Аварійні втрати виникають внаслідок порушення правил технічної експлуатації, стихійного лиха, несанкціонованих врізань. Особливо велика кількість аварій виникає якраз через несанкціоновані врізання. При цьому площа нафтової плями  $S$ , яка утворюється при постійному витіканні, визначається в залежності від кількості розлитої нафти [3]. Точно розрахована величина витікань дасть можливість з більшою вірогідністю одержати інформацію про площу забруднення довкілля нафтопродуктами.

Для прогнозування очікуваних витоків з трубопроводу використаємо відому залежність з гідромеханіки

$$Q = \mu \cdot S \sqrt{2gH}, \quad (1)$$

де  $Q$  – витрата;  $\mu$  – коефіцієнт витрати;  $S$  – площа отвору;  $g$  – прискорення вільного падіння;  $H$  – напір в точці пошкодження трубопроводу.

У літературних джерелах приведені залежності для визначення коефіцієнта витрати для отворів різної форми. При цьому застосування деяких із них для отворів неправильної форми вимагає визначення параметрів, які важко отримати за умов аварійної ситуації, тому виникає необхідність удосконалення цих залежностей. Виникає питання, як впливають найбільші поперечні та поздовжні розміри отворів на значення коефіцієнта витрати?

Вплив в’язкості на коефіцієнт витрати, як правило, досліджується при ламінарному режимі течії. При турбулентному режимі в’язкість рідини на значення коефіцієнта витрати практично не впливає. Режим руху нафти в магістральних нафтопроводах, як правило, турбулентний в зоні гідравлічно гладких труб.

Із збільшенням числа Рейнольдса, тобто із зменшенням впливу сил в'язкості, коефіцієнт швидкості  $\varphi$  зростає внаслідок зменшення коефіцієнта опору  $\zeta$ , а коефіцієнт стискування  $\varepsilon$  зменшується, що призводить до гальмування рідини біля кромки отвору.

Коефіцієнт витрати  $\mu$ , який визначається добутком  $\varphi$  на  $\varepsilon$ , із збільшенням числа Рейнольдса спочатку збільшується, що обумовлено стрімким зростанням  $\varphi$ , а потім, досягнувши максимального значення ( $\mu_{max} = 0,69$  при  $Re = 350$  (для круглих отворів)), зменшується внаслідок значного падіння  $\varepsilon$  і при більших значеннях числа Рейнольдса практично стабілізується. Для круглих отворів приймають наступні осереднені їх значення:  $\mu = 0,62$ ,  $\varphi = 0,97$ ,  $\zeta = 0,065$ ,  $\varepsilon = 0,64$  [4].

На основі статистичної обробки результатів експериментів [5] одержана така залежність для визначення коефіцієнта витрати при витіканні крізь некруглий отвір форми 1, яка використовується в таких межах

$$1 \leq \frac{l}{b} \leq 10 :$$

$$\mu = 0,62 + 0,0618 \lg \frac{l}{b}, \quad (2)$$

де  $l$  – найбільший поздовжній розмір отвору;  $b$  – найбільший поперечний розмір отвору.

Оскільки кількість витоку рідини залежить від тиску в точці витоку, то потрібно знати характер розподілу тиску вздовж трубопроводу для прогнозування можливих витоків. А для екологічної безпеки необхідно коригувати тиск на початку трубопроводу, оскільки він є найбільш небезпечний з точки зору виникнення проривів на трубопроводі.

Для розв'язку поставленої задачі об'єктом дослідження вибрано нафтопровід і використано промислові вимірювання витрати, тисків, температур, в'язкості на діючому трубопроводі.

Особлива увага звернена на прогнозування можливих витоків за даними внутрішньотрубною діагностики інтелектуальними поршнями, які вказують на наявність дефектів в певних точках трубопроводу та їх розміри. Експериментальні дослідження процесу витікання рідини з отворів неправильної форми, які мають місце при виникненні аварійних ситуацій у процесі експлуатації, їх статистична обробка дають змогу визначити коефіцієнт витрати, який потрібно знати для прогнозування витікань.

Розподіл тиску вздовж трубопроводу дасть змогу визначити величину можливих витікань у будь-якій точці трубопроводу, де виявлені дефекти в тілі труби, що необхідно для моделювання траєкторії витоку нафти та площі забрудненої території, впровадження заходів із попередження забруднення довкілля і зменшення впливу нафтопроводу на навколишнє середовище, що є особливо актуальним.

Використання геоінформаційних систем (ГІС) дає можливість на вищому рівні розв'язувати задачі екологічного моніторингу траси магістральних нафтопроводів, проводити моделювання наслідків аварійних

розливів нафти, ранжування ділянок трубопроводів за екологічним ризиком для проведення заходів щодо зменшення впливу нафтопроводу на довкілля.

Враховуючи, що велика частина інформації, необхідна для управління процесом транспорту нафти, характеризує географічне територіальне розташування об'єктів, використання ГІС дозволить вирішити значну кількість виробничих питань – де це місце знаходиться?

Перший тип питань вимагає з'ясування того, що знаходиться в заданому місці. Місце може бути визначене різними способами за назвою місцевості, за географічними координатами, виділенням на карті, яка зображена на екрані дисплею, наприклад, які магістральні трубопроводи наявні у даній місцевості.

Другий тип питань є оберненим до першого і полягає у в'ясненні або пошуку цього місця, де знаходиться географічний об'єкт або об'єкти, характеристики яких задовольняють деяким умовам. Наприклад, де на території заданого району знаходяться ділянки нафтопроводу з терміном експлуатації понад 20 років.

Розроблена комп'ютерна програма Vytik дозволяє спрогнозувати траєкторію розтікання нафти з дефектного отвору та площу забрудненої території у випадку виникнення аварійної ситуації (рис.1).

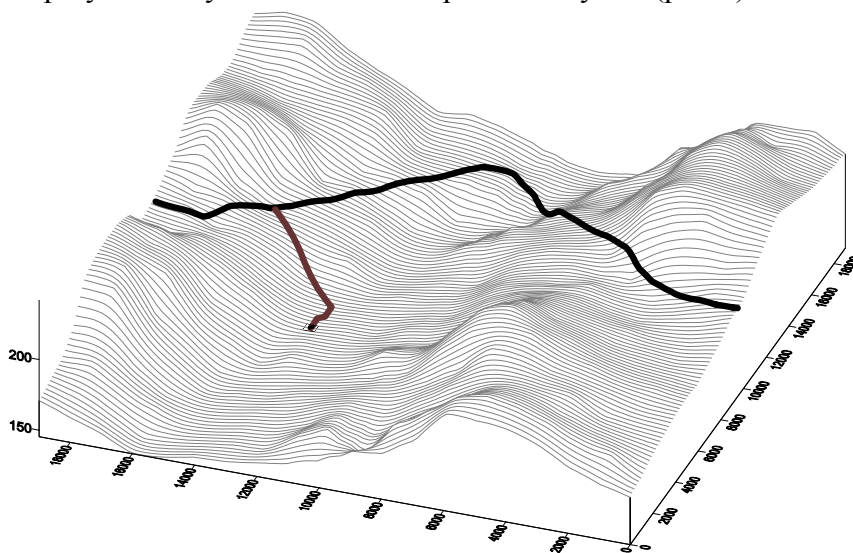


Рис.1 Зображення траєкторії витіку та площі забруднення в аксонометрії для 4 км ділянки трубопроводу, розлив нафти – 100 м<sup>3</sup>

Для прогнозування об'ємних втрат нафти, маючи дані діагностування трубопроводів, отримані за допомогою інтелектуального поршня, визначимо витрату рідини при появі витоків із дефектів, які потрапили до групи ризику.

Прогнозована витрата визначається за залежністю [3]

$$Q = \mu \cdot S \cdot \sqrt{2g\Delta H} = \mu_{\phi} \cdot S \cdot \sqrt{2 \frac{P}{\rho}}, \quad (3)$$

де  $\mu$  – коефіцієнт витрати крізь отвір некруглої форми, який апроксимуємо у вигляді ромба з діагоналями  $l$  і  $b$  (залежність (2.11)).

Геометричні розміри дефекту, його глибина та місцезнаходження в трубопроводі є результатом діагностування.

$$\Delta H = \frac{P - P_1}{\rho g}, \quad (4)$$

де  $P$  – тиск всередині трубопроводу;  $P_1$  – тиск на зовнішній твірній труби, який залежить від середовища, куди витікає нафта.

Напір над центром отвору  $p / \rho g$  визначається як віддаль від точки витікання до лінії гідравлічних нахилів трубопроводу в плановому режимі його експлуатації.

Коефіцієнт витрати  $\mu_{\phi}$ , який враховує фільтраційні властивості ґрунтів, рівний [4]

$$\mu_{\phi} = \left( \frac{1}{\mu^2} + \alpha \right)^{-\frac{1}{2}}, \quad (5)$$

де  $\alpha$  – коефіцієнт опору ґрунту.

$$\alpha = \frac{2gS^2v_n \cdot L}{Q \cdot k_{\phi} \omega \cdot v_e \cdot S_1}, \quad (6)$$

де  $v_n, v_e$  – в'язкість нафти і води відповідно;  $k_{\phi}$  – коефіцієнт фільтрації ґрунту;  $S$  – площа перерізу аварійного отвору;  $\omega$  – поправочний коефіцієнт на вологість ґрунту;  $Q$  – витрата рідини без врахування фільтраційних особливостей ґрунту;  $S_1$  – середня площа перерізу змоченого нафтою ґрунту;  $L$  – відстань між місцем знаходження розлитої нафти і місцем розташування відкритого отвору.

Коефіцієнт фільтрації ґрунту

$$k_{\phi} = \frac{v}{i}, \quad (7)$$

де  $v$  – швидкість фільтрації.

$$v = \frac{Q}{S_n}, \quad (8)$$

де  $Q$  – витрата рідини через аварійний отвір;  $S_n$  – площа розлитої нафти (визначається з моделі рельєфу);  $i$  – гідравлічний нахил пласта (знаходиться з моделі рельєфу).

Поправочний коефіцієнт на вологість ґрунту знаходимо за методикою, наведеною в [6]. Площа перерізу змоченого нафтою ґрунту та відстань  $L$  (знаходиться з моделі рельєфу).

Коефіцієнт витрати, визначений за залежністю (2.11)  $\mu=0,89$ , а з урахуванням фільтраційних особливостей ґрунту  $\mu_{\phi}=0,853$ .

Отже кількість нафти, яка вилілася з аварійного отвору за час  $\tau$ , буде

$$V = \mu_{\phi} S \sqrt{2gH} \cdot \tau. \quad (9)$$

Приймаємо середньостатистичний час витікання  $\tau = 2,5$  години (з моменту розгерметизації трубопроводу до моменту ідентифікації аварійної ситуації і відключення насосної станції) [3].

Прогнозування розвитку аварії ведемо за тисками в плановому режимі експлуатації (розглядаємо “найгірший” випадок, оскільки тоді об’єми аварійних витікань будуть максимальними).

Об’єм нафти, яка може потенційно витекти з дефекту за аварійної ситуації, складається з об’ємів забруднення при розливі на поверхні ґрунту, випаровування в атмосферу, насичення та фільтрації нафти в масиві ґрунту.

Підземні води зони аерації, захищені від техногенного забруднення шаром ґрунтів різного літологічного складу та різної товщини, який відіграє роль екрану і служить основою (фундаментом) для нафтопроводу. Наприклад, нафтопровід “Одеса-Броди” прокладений у різних ґрунтах: пісках, супісках, суглинках та глинах. Вони мають різні фільтраційні властивості і при аварійних викидах нафтопроводів захисна роль їх буде різною.

Масштаби забруднення зони аерації у районі розташування нафтопроводів при їх відмові в основному залежать від об’єму витіку нафти, проникності ґрунтів, їх потужності, рельєфу місцевості, глибини залягання ґрунтових вод, їх живлення та розвантаження.

За даними роботи [1] процес забруднення зони аерації при витіках нафти на земній поверхні можна розділити на три стадії.

Перша стадія характеризується утворенням поверхневого ареалу внаслідок заповнення нафтою заглибин на поверхні землі. На другій стадії проходить, головним чином, вертикальна інфільтрація нафти. Третя стадія характеризується боковою міграцією нафти у ґрунтах, при цьому у більш проникних ґрунтах цей процес проявляється значною мірою.

Однією з задач досліджень є визначення площі забрудненої території і її конфігурації для прогнозування екологічного ризику.

Наявність сучасних засобів геоінформаційного моделювання дозволяє розв’язати задачі прогнозування можливих наслідків аварій на трубопроводі в результаті розгерметизації.

Отже, загальна кількість нафти, яка може витекти з аварійного дефекту, з врахуванням фільтраційних властивостей ґрунту становить

$$Q = q_0 + q_e + q_{cm}, \quad (10)$$

де  $q_0$  – витрата нафти, яка просочується з поверхні землі (інфільтрація);  $q_e$  – витрата нафти, яка випаровується;  $q_{cm}$  – кількість нафти, яка стікає по рельєфу місцевості.

Визначимо, яка кількість нафти просочується з поверхні землі в ґрунт  $q_0$ , використавши методику, запропоновану в [3].

При розливі  $100 \text{ м}^3$  нафти кількість нафти, яка просочилася, рівна  $M_0=27200 \text{ кг}$ .

Кількість нафти, яка випарувалася, становить  $M_g=1200 \text{ кг}$ .

Загальна кількість нафти, яка витекла з трубопроводу –  $M=85000 \text{ кг}$ , отже кількість нафти, яка стікає по рельєфу –  $M_{cm}=56600 \text{ кг}$ .

Нафта, яка витекла з трубопроводу, негативно впливає на всі компоненти навколишнього середовища, а, основне, на людину, на стан її здоров'я.

Розглянемо, як впливають на людину пари нафти.

Нафта – це складна суміш вуглеводнів та неуглеводневих сполук. До нафти входять у різному співвідношенні насичені вуглеводні (парафіни), нафтени й ароматичні вуглеводні. До неуглеводневих (гетероатомних) належать органічні сполуки сірки, кисню, азоту, а також сполуки металів та деяких інших хімічних елементів. Нафта містить також високомолекулярні смолисто-асфальтенові сполуки.

При експлуатації нафтопроводів, а, особливо, при виникненні аварійних ситуацій, в атмосферу надходить значна кількість різних хімічних сполук – як відомих у природі, так і синтезованих людиною. Але всі вони належать до локальних і безпосередньо пов'язані зі специфікою галузі.

Уже накопичено багато фактів про можливий несприятливий вплив атмосферних забруднень на населення. Саме вони стали причиною посилення уваги до санітарної охорони атмосферного повітря і дозволили виділити медичний аспект як визначальний у цій складній та багатогранній проблемі.

Найдетальніші дані про вплив на здоров'я населення є нині стосовно таких поширених забруднювачів, як завислі речовини та діоксид сірки [4].

Першими сигналами можливої негативної дії атмосферних забруднень на здоров'я населення були так звані токсичні тумани – випадки гострого впливу атмосферних забруднень, концентрація яких зростала за несприятливих метеорологічних умов.

Друга група чинників, які спонукали підвищити увагу до проблеми забруднення атмосферного повітря, пов'язана з хронічними неспецифічними захворюваннями.

Одним із основних напрямів зменшення викидів і забезпечення високої якості атмосферного повітря є встановлення та контроль за додержанням нормативів гранично-допустимих викидів (ГДВ) та виконання заходів щодо їх досягнення.

Визначимо розподіл концентрації поллютантів в турбулентному потоці по вертикалі за залежністю [7]

$$c = c_0 e^{\left| -\left(\frac{3g}{u^2}\right)h \right|}, \quad (11)$$

де  $c_0$  – концентрація над поверхнею землі;  $u$  – швидкість вітру.

Приймаємо  $u=4,5 \text{ м/с}$ .

Концентрація над поверхнею Землі при швидкості вітру  $u=4,5$  м/с складає  $12 \text{ мг/м}^3$ .

Будуємо графік розподілу концентрації поллютантів по висоті (рис.2), використавши залежність (5.1).

Із графіка (рис.2) випливає, що концентрація поллютантів на рівні дихання менша, ніж гранично допустима концентрація нафтопродукту в атмосфері робочої зони ( $10 \text{ мг/м}^3$ ) і складає  $1,36 \text{ мг/м}^3 \text{ м}$ .

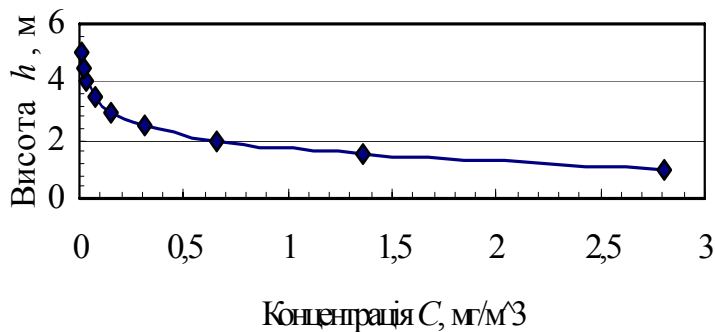


Рис.2. Розподіл концентрації поллютантів по висоті

Побудуємо діаграму розподілу кількості розлитої нафти (рис.3).

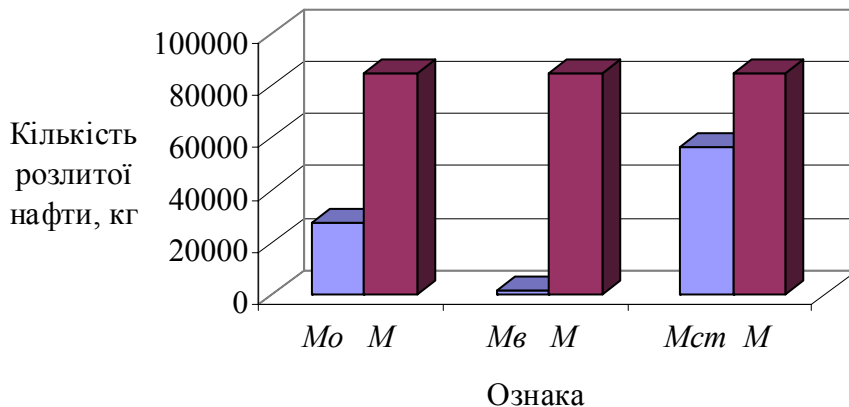


Рис.3. Розподіл кількості вилитої нафти

Із діаграми випливає, що при різко пересіченому профілі траси при аварійних витіканнях основна маса нафти стікає по схилах, а за наявності в зоні розтікання водних об'єктів – забруднює їх.

### Література

1. Кривенко Г.М. Вплив чинників на технічний ризик у ході експлуатації нафтопроводів / Г.М.Кривенко, Я.М.Семчук, М.П.Возняк, Л.В.Возняк // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – 2008. – 4(29) – С.108-111.
2. Кривенко Г.М. Комп'ютерне моделювання розтікання нафти та зони забруднення / Г.М.Кривенко // Науковий вісник Івано-Франківського



- національного технічного університету нафти і газу. – 2005. – 2(11) – С. 82-85.
3. Енергоекотологічна безпека нафтогазових об'єктів / [Р.М.Говдяк, Я.М.Семчук, Л.Б.Чабанович та ін.]. – Івано-Франківськ: Лілея-НВ, 2007. – 556 с.
  4. Методика визначення ризиків та їх прийнятних рівнів для декларування безпеки об'єктів підвищеної небезпеки. Міністерство праці і соціальної політики. № 637 від 4.12.2002 р. – 29 с.
  5. Кривенко Г.М. Дослідження процесу витікання рідини при виникненні аварійної ситуації / Г.М.Кривенко, Я.М.Семчук, М.П.Возняк // Розвідка і розробка нафтових і газових родовищ.-Івано-Франківськ. – 2001. – Т.5. – №38. – С. 120-123.
  6. Тугунов П.И. Нестационарные режимы перекачки нефтей и нефтепродуктов / П.И.Тугунов. – М.: Недра, 1984. – 224 с.
  7. Медников Е.П. Турбулентный перенос и осаждение аэрозолей / Е.П.Медников. – М.: Наука, 1980. – 176 с.

*Стаття надійшла до редакційної колегії 30.03.2011 р.  
Рекомендовано до друку д.т.н., професором Середюк М.Д.*

#### **FORECAST OF VOLUMES OF LOSSES OF OIL IN CASE OF ORIGIN OF EMERGENCY SITUATION**

**M. P. Vozniak, G. M. Kryvenko, L. V. Vozniak**

*Ivano-Frankivs'k National Technical University of Oil and Gas;*

*76019, Ivano-Frankivs'k, Carpats'ka st., 15;*

*ph. +380 (03422) 4-00-98; e-mail: [gidro@nung.edu.ua](mailto:gidro@nung.edu.ua)*

*Main oil pipelines are the objects of increased hazard. The system of main oil pipelines entered in the period of refuses that result in accidents. Forecast of volumes of possible discharges through the orifices in the body of pipe is given. Computers model the flow of oil through the forecast orifices gives the direction and covered of oil area.*

**Key words:** *oil pipeline, rate, emergency situation.*