

УДК 620.191.33: 620.193

DOI: 10.31471/2304-7399-2020-1(59)-142-150

ОЦІНКА ВЕЛИЧИНИ ВТРАТ НАФТИ ПРИ РОЗГЕРМЕТИЗАЦІЇ ЛІНІЙНОЇ ЧАСТИНИ ТРУБОПРОВОДУ

В. Т. Болонний

*Державний вищий навчальний заклад «Дрогобицький коледж нафти і газу»; 82107, м. Дрогобич, вул. М. Грушевського, 57;
тел. (03244) 3-89-69, e-mail: vtb281972@ukr.net*

Наведено характеристику нафтотранспортної системи України, встановлено ризики виникнення аварійних ситуацій вітчизняних нафто-транспортних трубопровідних систем. Проведено аналіз аварійності трубопровідного транспорту нафти в Україні. Розроблено методик оцінки аварійних витоків нафти в магістральному нафтопроводі в залежності від енергетичних характеристик потоку рідини та зміни її рівня у поперечному перерізі, що дасть змогу встановити, яка кількість нафти витікає в навколишнє середовище з моменту виявлення падіння тиску до встановлення стаціонарних умов роботи трубопроводу та його остаточної зупинки з метою проведення ремонтних робіт.

За результатами проведених розрахунків побудовано графіки, які демонструють характер формування ареалу забруднення ґрунту витоком з нафтопроводу.

Лінійна частина магістральних нафтопроводів є найбільш небезпечним об'єктом, оскільки всі аварійні ситуації пов'язані з аварійними процесами різної інтенсивності у вигляді витікань нафти в навколишнє середовище і є небезпечними стосовно виникнення відмов системи. У залежності від величини витоків, його інтенсивності залежить процес та термін формування зони екологічної небезпеки.

Аварійні виток нафти і нафтопродуктів з трубопроводів потрапляють у навколишнє середовище (найчастіше ґрунт), утворюючи ареал забруднення.

Ключові слова: *магістральний нафтопровід, нестационарний потік, аварійна ситуація, аварійний витік нафти.*

Вступ

Нафтотранспортна система України, експлуатацію якої здійснює ПАТ «Укртранснафта», складається з 19 магістральних нафтопроводів (МН) загальною довжиною 4766,1 км. Річна пропускна здатність системи для транзиту нафти з території РФ становить: на вході – 114 млн. тонн, на виході – 56,3 млн. тонн. Роботу нафтопровідної системи забезпечує 51 перекачувальна станція, на яких працює 176 насосних агрегатів.

Термін експлуатації нафтопроводів складає від 20 до 44 років і 90% із них відпрацювали свій амортизаційний період. Обладнання нафто-транспортної системи утримується в надійному стані, хоча є морально застарілим, потребує додаткових експлуатаційних витрат. Забезпечення надійності функціонування нафто-транспортної системи на найближчу перспективу потребуватиме фінансових витрат на суму близько 4 млрд. грн., з них для реалізації першочергових заходів – 2,3 млрд. грн. [1].

Потенційні аварійні ситуації на трубопроводах мають великі матеріальні витрати і значні екологічні наслідки. Важкі умови експлуатації – взаємодія напруженого матеріалу з корозійно-агресивним середовищем, перевищення розрахункового терміну експлуатації, нерівномірність постачання нафти і нафтопродуктів споживачам характеризуються неусталеними умовами їх руху по лінійній частині, значні зміни тиску і температури пришвидшують нештатні умови експлуатації магістральних нафтопроводів.

Основними причинами аварій на магістральних трубопроводах протягом 2012-2019 рр. стали:

- зовнішні впливи – 34,3%, (від загальної кількості),
- брак при будівництві – 23,2%,
- зовнішня корозія – 22,5%,
- брак при виготовленні труб і обладнання на заводах – 14,1%,
- помилкові дії персоналу – 3%.

В Україні сумарне число виявлених відмов нафтопроводів, в тому числі аварійних, змінюється від 0,25 до 0,5 рік⁻¹ на 1000 км. До того ж, починаючи з 2010 р., зросла загальна кількість відмов, що пов'язано з несанкціонованим доступом з використанням «врізань» та спрацюванням лінійної частини нафто-транспортної системи країни.

Аналіз сучасних закордонних і вітчизняних досліджень і публікацій

Розгерметизація магістральних нафтопроводів є наслідком появи і розвитку різного роду дефектів, спричинених впливом різних чинників (у тому числі і геодинамічного). Це призводить до виникнення аварійних ситуацій з витокami нафти (рис. 1), згубні наслідки яких вимагають прогнозування і попередження розгерметизації.

22 липня 2006 р. в Харківській області було розгерметизовано нафтопровід Лисичанськ – Кременчук. На місці, де прокладений нафтопровід, фонтанувала нафта, висота фонтану – понад 12 метрів (рис. 1, а). Для ліквідації надзвичайної ситуації було задіяно працівників «Укртранснафта» та рятувальників МНС, чергували 15 одиниць рятувальної техніки та 2 гелікоптери. Навколо свищу було вирито нафтовловлювач та організовано збір, відкачування та вивіз нафти трьома одиницями спецтехніки. Витік нафти склав понад 220 м³ (240 тонн), забруднено 350 м² території. Збитки внаслідок аварії колосальні. Крім того, необхідно було вирішити питання щодо подальшої утилізації (спеціальної обробки) забрудненого ґрунту [2].



а)



б)

а) аварія на нафтопроводі Лисичанськ – Кременчук; б) аварія на нафтопроводі «Дружба»

Рис. 1. Наслідки аварії на нафтопроводах, спричинені витокami нафти

17 квітня 2014 р. о 14:45 біля селища Олесько Буського району Львівської області у підземному магістральному нафтопроводі «Дружба» виявлено несанкціоновану врізку, з якої стався витік нафти в межах охоронної зони нафтопроводу (рис. 1, б). О 15:00 перекачку нафти призупинили. Площа забрудненої ділянки складає близько 3 108 м². Станом на 17:20 четверга бригади Львівської філії ВАТ «Укртранснафта» ліквідували витік нафти. Після зварювальних робіт, о 20:45, відновлено транспортування нафти. Проведено роботи по збору та рекультивації забрудненого ґрунту в місці розливу нафти. Загрози навколишньому середовищу, водоймам та водозаборам немає [3].

Висвітлення невирішених раніше частин загальної проблеми

Надійності роботи лінійної частини магістральних нафтопроводів та екологічній безпеці охоронної зони присвячена значна кількість наукових праць. Проблема аварійних витоків нафти з трубопроводів є надзвичайно актуальною. Це пов'язано зі старінням матеріалу нафтопро-

воду, наявними корозійними процесами, значними труднощами проведення ремонтних робіт.

Авторами [4] розроблені аналітичні методики витоків продукту з лінійної частини на основі дослідження діагностичних процесів внутрішньої порожнини трубопровідних систем. Наукові дослідження описують гідравлічну ефективність трубопровідних систем нафти і газу з врахуванням нестаціонарності потоку та ускладнені їх усередненими параметрами, що понижує точність обчислень. У науковій праці [5] розроблено ймовірнісну оцінку цілісності трубопроводу на основі дефектності ділянок магістрального нафтопроводу. Питанням формування полів фільтрації забруднень в пористому середовищі як функції просторових координат і часу присвячені наукові методології [6]. Аналіз методів виявлення місць витікання нафти та нафтопродуктів за гідродинамічних умов перекачування рідкого середовища подано у науковій праці [7].

Формулювання цілей статті

Трубопровідний транспорт нафти і нафтопродуктів є невід'ємною частиною паливно-енергетичного комплексу країни і представляє собою складний інженерний комплекс споруд, обладнання та комунікацій, що працюють під надлишковим тиском в безперервному режимі. Трубопроводи здійснюють постачання вуглеводневої сировини на значні відстані від місць видобування до пунктів переробки і при цьому на своєму шляху перетинають значну кількість природних та штучних перешкод. Сучасні нафтопроводи мають діаметр до 1220 мм і працюють з тиском 3,0-4,5 МПа, функціонально поєднують в собі транспортний засіб і транспортний шлях, який запобігає контакту транспортованого середовища від кисню повітря, впливу вогню, температури, окисників, інших речовин і небезпечних сполук. Аварійність нафтопроводу визначається низкою параметрів гідродинамічного характеру, що впливають з стаціонарних і нестаціонарних умов. Нестационарні умови в нафтопроводах проходять надзвичайно швидко і через певний час встановлюється стаціонарний режим роботи лінійної частини.

В даній статті автором розроблено методику оцінки аварійних витоків нафти в магістральному нафтопроводі в залежності від енергетичних характеристик потоку рідини та зміни її рівня у поперечному перерізі, що дасть змогу встановити, яка кількість нафти витікає в навколишнє середовище з моменту виявлення падіння тиску до встановлення стаціонарних умов роботи трубопроводу та його остаточної зупинки з метою проведення ремонтних робіт.

Висвітлення основного матеріалу дослідження

Розглянемо довільну ділянку магістрального нафтопроводу внутрішнім діаметром d довжиною L . За виробничими даними на трубопроводі виникла аварійна ситуація, пов'язана з виявленим витокі нафти

через дефект у стінці труби. Основне рівняння, що описує режим руху нафти при нестационарному режимі має такий вигляд:

$$\begin{cases} -\frac{dP}{dx} + M \cdot q \cdot (x - x_q) = \frac{d(\rho\omega)}{dt} + \frac{\lambda \cdot \rho \cdot \omega^2}{2 \cdot d}, \\ \frac{dM}{dR} = M \cdot q \cdot (x - x_q) \cdot \rho \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H} \cdot \mu \cdot S, \end{cases} \quad (1)$$

де P – тиск рідини в трубопроводі, M – масова витрата рідини, $q \cdot (x - x_q)$ – функція джерела Дірака, R – внутрішній радіус тіла труби, ρ – густина рідини, ω – швидкість перекачування рідини, g – прискорення вільного падіння, H – напір у лінійній частині трубопроводу, l – довжина трубопроводу, μ – коефіцієнт витрати отвору, S – площа аварійного отвору.

В результаті проведених математичних перетворень системи рівнянь (1), отримуємо таку систему рівнянь

$$\begin{cases} M \cdot q \cdot (x - x_q) = \frac{d(\rho\omega)}{dt} + \frac{\lambda \cdot \rho \cdot \omega^2}{2 \cdot d} + \frac{dP}{dx}, \\ \frac{dM}{dR} = \left(\frac{d(\rho\omega)}{dt} + \frac{\lambda \cdot \rho \cdot \omega^2}{2 \cdot d} + \frac{dP}{dx} \right) \cdot \rho \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H} \cdot \mu \cdot S. \end{cases} \quad (2)$$

Таким чином, отримуємо наступний математичний вираз шляхом розв'язування другого рівняння системи (2)

$$M = \int \left(\frac{d(\rho\omega)}{dt} + \frac{\lambda \cdot \rho \cdot \omega^2}{2 \cdot d} + \frac{dP}{dx} \right) \cdot \rho \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H} \cdot \mu \cdot S \, dR. \quad (3)$$

Розв'язок рівняння (3) буде наступним

$$M = \int \left(\frac{d(\rho\omega)}{dt} + \frac{\lambda \cdot \rho \cdot \omega^2}{2 \cdot d} + \frac{dP}{dx} \right) \cdot \rho \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H} \cdot \mu \cdot S \, R + c, \quad (4)$$

де c – константа.

Розглянемо більш детально характер дефектів тіла трубопроводу при аварійних розливах нафти, оскільки їх площа значною мірою впливає на кількість вилитої нафти. Це наскрізні дефекти різної форми та розмірів, що можуть бути як і в основному металі, так і в зварних швах труб (рис. 2).

Найбільший збиток наносять аварії на трубопроводах, в яких сталися руйнування по основному металу труб, або в зоні зварних з'єднань.

Основним фактором, що визначає розмір завданої шкоди при аваріях магістральних нафтопроводів є кількість розлитої нафти, яка залежить від форми аварійного отвору. Площа дефектів визначається за допомогою геометричних формул. Проте, як показує досвід, пошкодження тіла труби на практиці мають неправильну геометричну форму. Площу таких дефектів можна визначити методом інтегрального числення за допомогою визначеного інтеграла, або за допомогою різноманітного програмного забезпечення (графічних чи математичних редакторів). Перший спосіб є громіздким, особливо у випадку розрахунку площі дефектів складної геометричної форми.

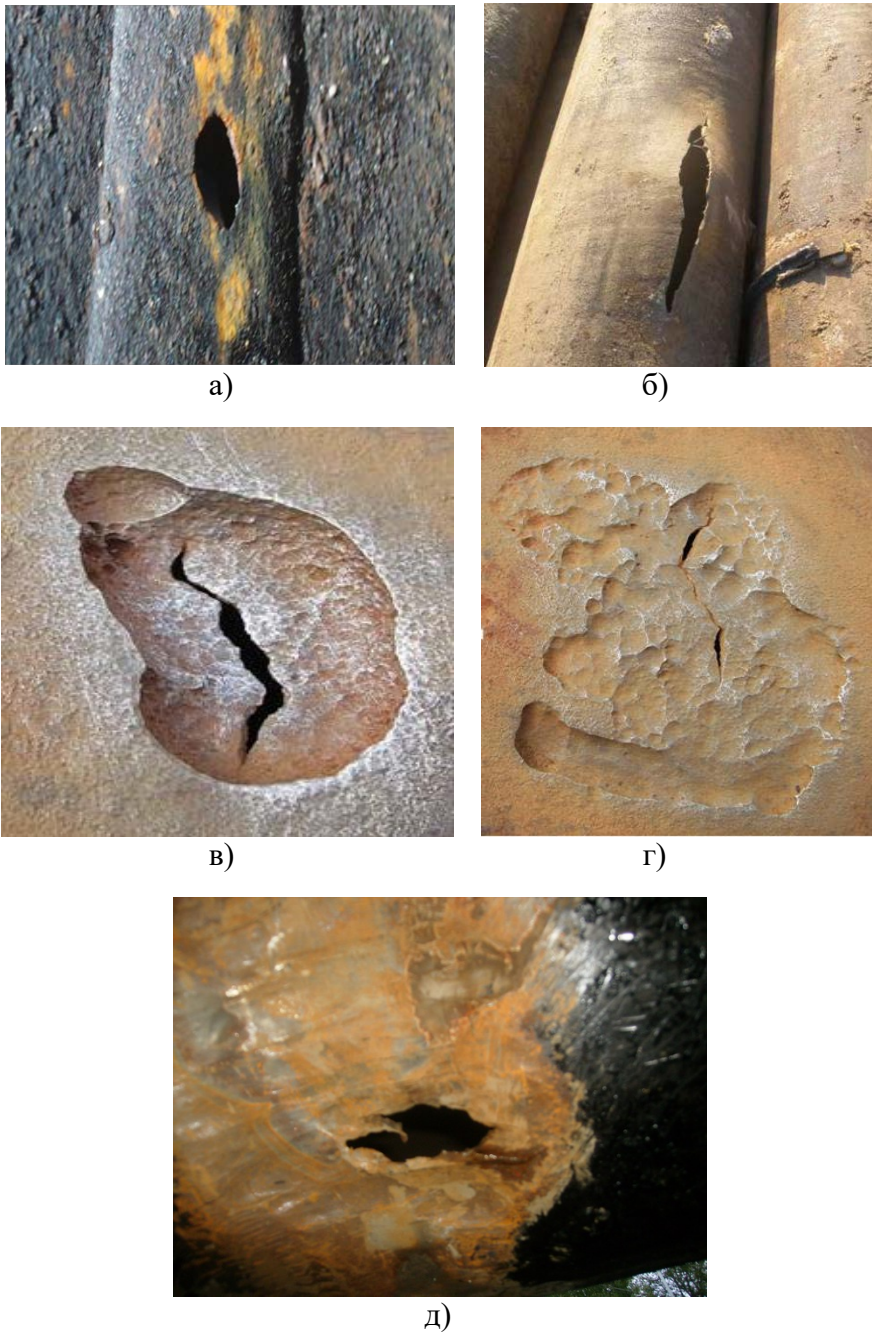


Рис. 2. Характерні дефекти тіла труби, що призводять до аварійних втрат транспортованого середовища

Для прикладу, моделювання наскрізних дефектів, що зображені на рисунку 2 з визначенням їх площі можна виконати за допомогою інтерактивного графічного редактора КОМПАС 3D. Дана процедура показана на рис. 3.

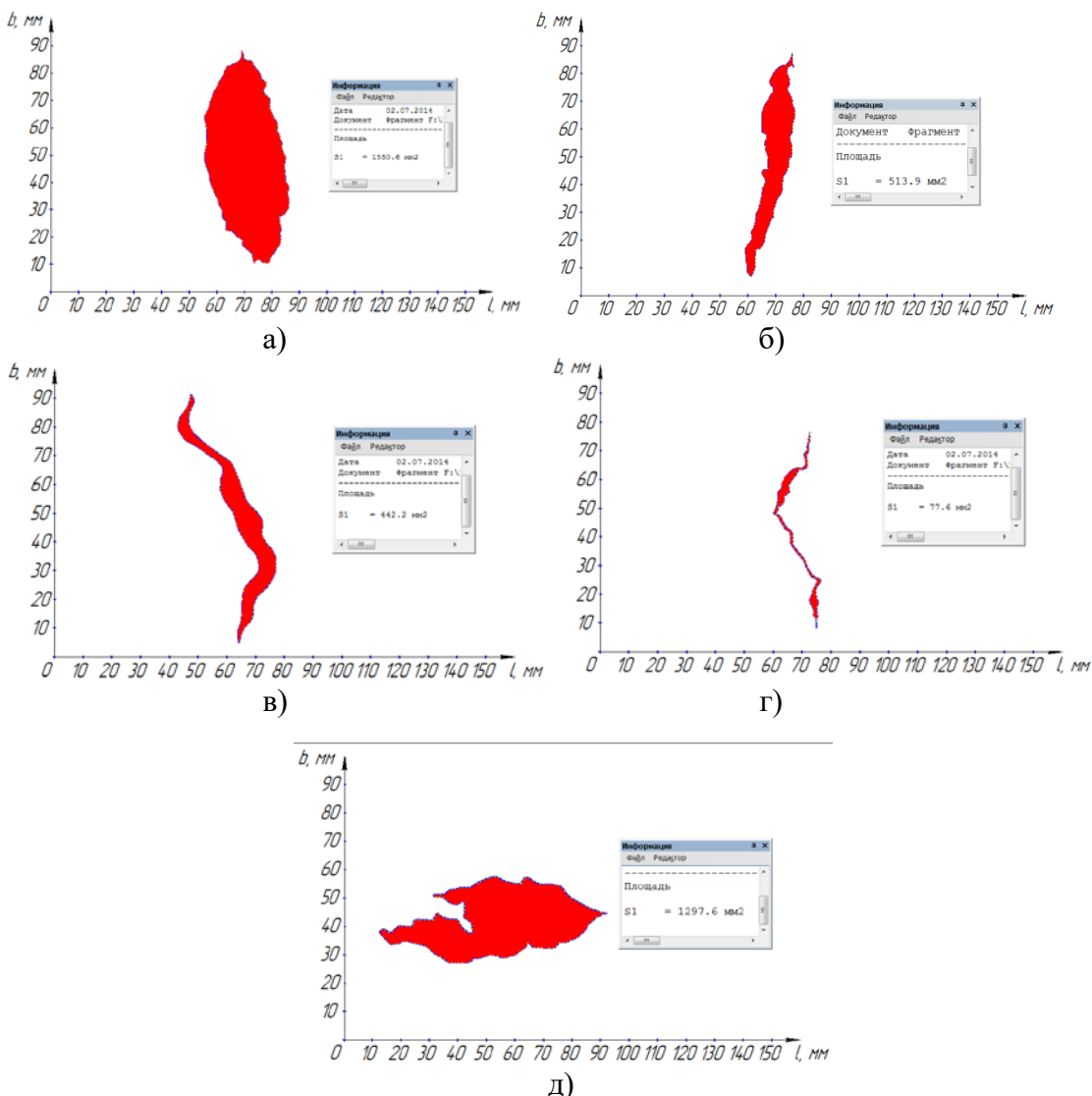


Рис. 3. Визначення площі наскрізних дефектів з допомогою графічного редактора КОМПАС-3D

За одержаним розв'язком рівняння (4) можна визначити кількість рідини, яка витікає з нафтопроводу за рахунок зменшення заповнення поперечного перерізу трубопроводу в умовах нестационарного режиму, викликаного наявністю зосередженого витoku нафти.

За вказаним алгоритмом проведено розрахунки та побудовано графіки, які демонструють характер формування ареалу забруднення ґрунту витком з нафтопроводу і подані на рис. 4.

Аварійні витки нафти і нафтопродуктів з трубопроводів потрапляють у навколишнє середовище (найчастіше ґрунт), утворюючи ареал забруднення.

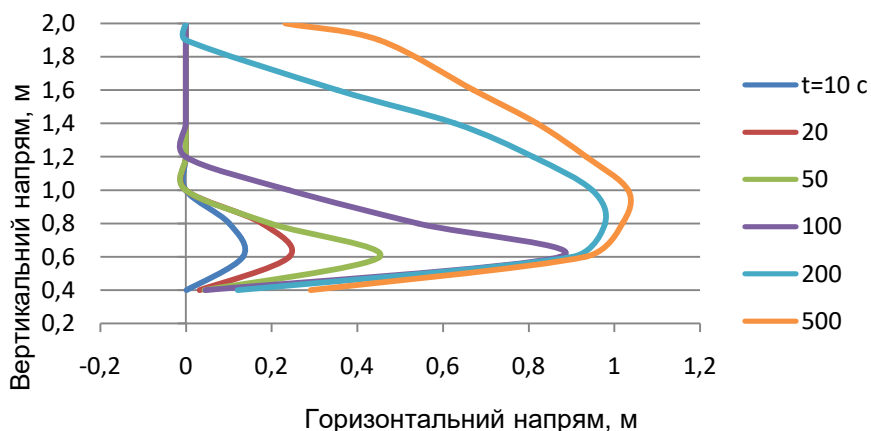


Рис. 4. Характер формування ареалу забруднень ґрунту витоком із нафтопроводу

Висновки

У процесі проведених досліджень розглянуто можливість імітації витікання рідини з трубопроводу в характерних умовах проходження траси трубопроводу і побудовано нестационарну математичну модель зміни кількості нафти у поперечному перерізі трубопроводу за рахунок наявного зосередженого витоку нафти.

Результати розрахунків за запропонованою методикою порівнювалися з результатами фактичних вимірів і розрахунків за відомими формулами. Встановлено, що розрахунки за відомими формулами дають завищені результати порівняно з фактичними на величину 22-38 %, а відхилення результатів розрахунків за запропонованою методикою від фактичних знаходиться в межах 6-11%.

Література

1. Середюк М. Д. Трубопровідний транспорт нафти і нафтопродуктів: [підручник для студ. вищ. навч. закл.] / Середюк М. Д., Якимів Й. В., Лісафін В. П. – Івано-Франківськ: Кременчук, 2001. – 517 с.
2. www.mns.gov.ua.
3. Нафтопровід станом на сьогодні https://zaxid.net/naftoprovid_tag45005
4. Грудз В.Я. Технічна діагностика трубопровідних систем / В.Я. Грудз, Я.В. Грудз, В.В. Костів та ін. – Івано-Франківськ: Лілея-НВ, 2012. – 512 с.
5. Мандрик О.М. Екологічна безпека транспортування природного газу: монографія / за ред. д.т.н, професора, член-кореспондента НАН України Є.І. Крижанівського. – Івано-Франківськ: 2014. – 256 с.
6. Грудз Я.В. Енергоефективність газотранспортних систем / Я.В. Грудз. – Івано – Франківськ: Лілея-НВ, 2012. – 208 с.
7. Якимів Й.В. Проектування та експлуатація нафтопроводів / Й.В. Якимів, О.М. Бортняк. – Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2015. – 171 с.

8. Кривенко Г.М. Прогнозування екологічного та технічного ризиків при експлуатації магістральних нафтопроводів з пересіченим профілем траси: дис. кандидата технічних наук: 04.03.05 / Кривенко Галина Мирославівна. – Івано-Франківськ, 2004. – 208с.
9. Навроцький Б.І. Механіка рідин: [підручник для студ. вищ. навч. закл.] / Б.І. Навроцький, Є. Сухін – Київ, 2003.
10. Безопасность пересечений трубопроводами водных преград: [учеб. для студ. высш. учеб. заведений] / К. А. Забела, В. А. Красков, В. М. Москвич, А. Е. Сощенко – М.: Недра, 2001.

Стаття надійшла до редакційної колегії 04.11.2020 р.

ESTIMATION OF THE VALUE OF OIL LOSS DURING THE SEALING OF THE LINEAR PART OF THE PIPELINE

V. T. Bolonny

*State Higher Educational Institution “Drohobych oil and gas college”;
82100, Ukraine, Lviv region, Drohobych, 57, Hrushewskoho str.;
ph. (03244) 3-89-69; e-mail: vtb281972@ukr.net*

The characteristics of the oil transportation system of Ukraine are presented, the emergency risks of domestic oil transportation pipeline systems are established. The analysis of the accident rate of oil pipeline transport in Ukraine was carried out. The technique for estimating emergency oil leakages in the main pipeline depending on the energy characteristics of the fluid flow and changes in its level in the cross section is developed allowing to determine the volume of oil leakages into the environment from the detection of pressure drop to the establishment of stationary conditions of the pipeline operation and its final stop for the purpose of carrying out repairs.

Based on the results of the calculations, the graphs which demonstrate the nature of the formation of soil pollution area by leakage from the pipeline are constructed.

The linear part of the main oil pipelines is the most dangerous object, as all emergency situations are associated with emergency processes of different intensity in the form of oil leakage into the environment and in fact are dangerous when system failures appear. The process and the time period for the formation of the ecological danger zone depend on the amount of oil leakage, its intensity.

Emergency leakages of oil and petroleum products from pipelines enter the environment, which is often the soil, forming an area of gassiness, and then reach the surface, polluting the atmosphere.

Key words: *main oil pipeline, transient flow, emergency situation, emergency oil leakage.*