

504:622.692.4
K82

Івано-Франківський національний технічний університет
нафти і газу

КРИВЕНКО ГАЛИНА МИРОСЛАВІВНА

УДК (504.05+504.06):622.692.4

**ПРОГНОЗУВАННЯ ЕКОЛОГІЧНОГО ТА ТЕХНІЧНОГО РИЗИКІВ ПРИ
ЕКСПЛУАТАЦІЇ МАГІСТРАЛЬНИХ НАФТОПРОВОДІВ З
ПЕРЕСІЧЕНИМ ПРОФІЛЕМ ТРАСИ**

Спеціальність 21.06.01 – екологічна безпека

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук



Івано-Франківськ – 2005

Дисертацією є рукопис.

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



Науковий керівник: доктор технічних наук, професор

Семчук Ярослав Михайлович,

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу,

завідувач кафедри безпеки життєдіяльності,
м. Івано-Франківськ.

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, професор

Рудий Роман Михайлович, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, завідувач кафедри землевпорядкування та кадастру, м. Івано-Франківськ;

кандидат технічних наук

Фесенко Ігор Миколайович, СП “Полтавська газонафтова компанія”, технічний референт, м. Полтава.

Провідна установа: Національний університет “Львівська політехніка” Міністерства освіти і науки України, м. Львів.

За
спеціалі
націона
Україна

3
Франків
76019,

Авторы

Вчений
вченої
доктор

на засіданні
Франківському
есою: 76019,

ліотеці Івано-
у за адресою:

тевник О.В.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Мережа нафтопроводів України є важливим елементом міжнародної системи транспортування нафти і відіграє значну роль у забезпеченні енергетичної безпеки країни. Магістральні нафтопроводи, довжина яких становить близько 5000 км, прокладені через регіони з різними кліматичними зонами та інженерно-геологічними умовами.

У процесі проектування та експлуатації нафтотранспортної системи недостатньо враховується її вплив на довкілля й оцінюється та аналізується ризик. Забезпечення безпеки, в основному, зводиться до дотримання певних відстаней між трасою магістральних трубопроводів та об'єктами інфраструктури. У разі відмов магістральних нафтопроводів, що виникають під дією техногенних, природних та антропогенних факторів, порушується природний режим ґрунтів і водних об'єктів, забруднюється атмосфера, що часто призводить до екологічного лиха.

Незважаючи на важливість безаварійної експлуатації магістральних нафтопроводів, проблемі прогнозування ризиків, за результатами внутрішньотрубно́го діагностування з урахуванням технологічних режимів і рельєфу місцевості, приділена недостатня увага. Дану проблему можна вирішити, розробивши геоінформаційну систему, в основі якої покладена ідея сумісної комп'ютерної обробки картографічного матеріалу у вигляді електронних карт та атрибутивної інформації, що характеризує об'єкти цих карт (у нашому випадку об'єкти магістрального нафтопроводу). При цьому необхідно розглядати у взаємозв'язку технічний та екологічний ризики, які пов'язані з технологічними режимами експлуатації та з прогнозуванням можливих витікань нафти і площі забрудненої території в разі виникнення аварійної ситуації.

Актуальність даної роботи зумовлена тим, що в Україні завершено будівництво нафтопроводу Одеса-Броди. Питання дня – будівництво магістралі Броди – Плоцьк – Гданськ.

Тому розроблені в дисертації теоретичні та практичні основи комплексного дослідження факторів для прогнозування екологічного та технічного ризиків можуть бути використані при проектуванні й експлуатації трубопроводів для підвищення їх екологічної безпеки.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота носить науково-прикладний характер і входить до комплексу тематичних планів ВАТ “Укрнафта” та ВАТ “Укртранснафта”, спрямованих на підвищення екологічної безпеки експлуатації систем трубопровідного транспорту нафти, що є складовою частиною Національної програми “Нафта і газ України до 2010 року”.

НТБ
ІФНТУНГ



an727

Мета і задачі дослідження. Метою даної роботи є зменшення впливу магістральних нафтопроводів на довкілля шляхом прогнозування екологічного та технічного ризиків.

Для досягнення поставленої у дисертації мети були сформульовані такі задачі досліджень:

- провести аналіз стану проблеми з екологічної безпеки експлуатації магістральних нафтопроводів;
- дослідити процес витікання нафти з метою прогнозування екологічного ризику;
- оцінити вплив факторів на перепад тиску в трубопроводі, який пов'язаний з технічним ризиком;
- розробити математичну модель для прогнозування технічного ризику при експлуатації неізотермічного нафтопроводу з пересіченим профілем траси;
- здійснити комп'ютерне моделювання аварійного розтікання нафти при пересіченому профілі траси;
- розробити методичні основи прогнозування оцінки екологічного та технічного ризиків.

Об'єкт дослідження: лінійна частина магістральних нафтопроводів.

Предмет дослідження: фактори, які впливають на екологічний та технічний ризики при експлуатації нафтопроводів з пересіченим профілем траси.

Методи дослідження: при проведенні теоретичних і експериментальних досліджень використовувалися: методи статистичного аналізу експериментальних даних, математичне моделювання досліджуваних процесів і сучасні методи реалізації моделей, а також загальновідомі методи планування та проведення експериментів.

Наукова новизна отриманих результатів. Наукова новизна отриманих результатів полягає в комплексному дослідженні факторів, які впливають на екологічний та технічний ризики при експлуатації трубопроводів:

- отримано удосконалені залежності для визначення коефіцієнта витрати при витіканні рідини через отвори різних форм у тілі труби для прогнозування можливих витоків, які пов'язані з екологічним ризиком;
- вперше запропоновано математичні моделі для визначення перепаду тиску по довжині конкретного нафтопроводу Долина – Дрогобич з урахуванням інформативності даних промислових вимірювань;
- запропоновано методику спрощеної аналітичної реалізації для визначення розподілу тиску в трубопроводі з урахуванням його стрибкоподібної зміни при прогнозуванні технічного ризику;
- для прогнозування технічного ризику при експлуатації неізотермічних нафтопроводів з пересіченим профілем траси реалізовано математичну модель руху нафти, в якій враховується вплив температури на характер розподілу тиску в

трубопроводі і, на відміну від існуючих моделей, повний коефіцієнт теплопередачі визначається за удосконаленими залежностями, одержаними автором внаслідок статистичної обробки реальних параметрів роботи нафтопроводу;

– розроблено та реалізовано в програмному продукті моделювання траєкторії витікання нафти з дефектного отвору з використанням методу найшвидшого спуску та площі забрудненої території з урахуванням рельєфу місцевості для прогнозування екологічного ризику;

– вперше запропоновано методичні основи прогновної оцінки відносного екологічного та технічного ризиків.

Практичне значення одержаних результатів. На основі теоретичних та експериментальних досліджень розроблено метод оцінки відносного екологічного та технічного ризиків, який може бути використаний на стадії проектування та експлуатації магістральних нафтопроводів.

Реалізовано в програмному продукті моделювання процесу витікання нафти у випадку аварійної ситуації, на основі якого розроблено стандарт підприємства “Комп’ютерне моделювання витікання нафти з трубопроводу та прогнозування зони забруднення”, який затверджено у філії “Магістральні нафтопроводи “Дружба” ВАТ “Укртранснафта”. Очікуваний економічний ефект від реалізації стандарту підприємства у Дрогобицькому нафтопровідному управлінні відповідно до акта впровадження становить 131 тис. грн./рік.

Результати роботи використовуються в навчальному процесі під час вивчення дисципліни “Аеро- і гідродинаміка полютантів”, а також у курсовому та дипломному проектуванні студентів спеціальності “Екологія та охорона навколишнього середовища”.

Особистий внесок здобувача.

1. Проведено аналіз стану проблеми з екологічної безпеки експлуатації магістральних нафтопроводів, причин виникнення аварійних ситуацій на нафтопроводах; розглядається вплив нафтопроводу на довкілля, технічний та екологічний ризику при експлуатації нафтопроводів [3, 7, 8, 9].

2. Досліджено процес витікання рідини на експериментальній установці, що дало змогу одержати залежності для визначення коефіцієнта витрати для отворів різної конфігурації [5].

3. Запропоновано адаптаційний метод рангової класифікації, що дасть можливість визначити небезпечні ділянки трубопроводу, прогножуючи технічний та екологічний ризику [11].

4. Дано оцінку впливу факторів на процес транспортування нафти, за результатами якої можна одержати рівняння регресії для визначення перепаду тиску в трубопроводі з урахуванням основних факторів з метою прогнозування технічного ризику [4, 10].

5. Запропоновано методику спрощеної аналітичної реалізації задачі для прогнозування розподілу тиску по довжині трубопроводу з урахуванням його стрибкоподібної зміни [6].

6. Побудовано математичну модель, яка описує характер розподілу по довжині неізотермічного нафтопроводу з пересіченим профілем траси таких факторів як тиск і температура, що впливають на технічний та екологічний ризику [1, 2].

7. Здійснено комп'ютерне моделювання процесу витікання нафти при аварії на трубопроводі, що дає змогу визначити напрям руху нафти та площу забрудненої території за заданого рельєфу місцевості [12].

Основні результати роботи отримані автором самостійно.

Апробація роботи. Основні результати дисертаційної роботи доповідались на:

- Міжнародній науково-практичній конференції, присвяченій 100-річчю започаткування нафтогазової освіти в Україні (Івано-Франківськ, 1998);

- Міжнародній науково-практичній конференції “Нафта і газ України – 2000” (Івано-Франківськ, 2000);

- науково-технічній конференції професорсько-викладацького складу Івано-Франківського державного технічного університету нафти і газу (Івано-Франківськ, 2001);

- науково-технічній конференції професорсько-викладацького складу Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу (Івано-Франківськ, 2003);

- Міжнародній науково-практичній конференції “Україна наукова’2003” (Дніпропетровськ, 2003);

- засіданнях наукового семінару кафедри безпеки життєдіяльності (1999 – 2004р.р.).

У повному обсязі результати досліджень доповідалися і обговорювалися на розширеному засіданні кафедри безпеки життєдіяльності ІФНТУНГ і міжкафедрального наукового семінару інженерно-екологічного факультету.

Публікації. За темою дисертації опубліковано 12 друкованих праць, з яких 9 – у фахових виданнях України

Структура та обсяг роботи. Дисертаційна робота складається зі вступу, п’яти розділів, висновків, викладених на 214 аркушах машинописного тексту, в тому числі з 41 рисунка, 27 таблиць, списку використаних джерел із 115 найменувань та 8 додатків.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У *вступі* аргументована актуальність теми дисертації, сформульована мета та основні задачі досліджень, висвітлено наукову новизну та практичну цінність роботи.

У першому розділі наведено аналіз стану проблеми з екологічної безпеки експлуатації магістральних нафтопроводів. Розглядається вплив трубопровідного транспорту на навколишнє середовище, методи діагностування трубопроводів з метою виявлення дефектів, а також аналізуються причини виникнення аварійних ситуацій.

Огляд літературних джерел показав, що основною формою впливу магістральних нафтопроводів на довкілля при їх експлуатації є можливість забруднення нафтою у разі виникнення аварійних ситуацій. При цьому забруднюється значна територія, і нафта, просочуючись в ґрунт, змінює його фізико-хімічні властивості. В окремих випадках нафта безпосередньо попадає у водоймища. Крім того можуть забруднюватися і підземні води. Внаслідок випаровування нафти, що розлилася, атмосфера забруднюється легкими вуглеводнями.

Причини відмов трубопроводів, що створюють технічний ризик, висвітлено в низці робіт, зокрема П.П.Бородавкіна, Р.М.Говдяка, В.Я.Грудза, Б.І.Кіма, Ю.О.Кузьменка, С.Е.Кутукова, Б.С.Рачевського, В.В.Розгонюка, Я.М.Семчука, А.Г.Телегіна, Л.С.Шлапака та інших.

Технічний ризик пов'язаний з екологічним, оскільки без першого не було другого. Екологічний ризик дає змогу оцінити масштаби впливу відмов нафтопроводів на довкілля.

Отже, для запобігання екологічної небезпеки прогнозування ризиків при експлуатації магістральних нафтопроводів є актуальним і вимагає комплексного дослідження факторів, які впливають на них.

З аналізу літературних джерел випливає, що для трубопроводів тривалої експлуатації характерна значна кількість дефектів. Дефекти в тілі труби відрізняються глибиною та довжиною. Більш небезпечними є глибокі дефекти невеликої довжини, ніж дефекти, у яких глибина незначна, але велика протяжність.

У роботі наводиться оцінка ступеня небезпечності дефектів, класифікація пошкоджень на трубопроводі. Виходячи з аналізу джерел, присвячених аварійним ситуаціям на магістральних трубопроводах та екологічному і технічному ризикам при експлуатації магістральних нафтопроводів, сформульовано основні задачі дослідження для реалізації поставленої мети.

У другому розділі проведено обґрунтування вибору напрямку досліджень та побудована схема прогнозування ризиків при експлуатації магістральних нафтопроводів (рис. 1).

Для прогнозування екологічного ризику запропоновано дослідження факторів, які впливають на нього (витрата і площа забрудненої території). Витрата залежить від коефіцієнта витрати, площі отвору та напору в точці витікання. Тому проведено експериментальні дослідження процесів витікання

рідини згідно з методикою планування експериментів для визначення коефіцієнта витрати. Дослідження проводилися з отворами різної конфігурації (від ромба до щілини) і площі.

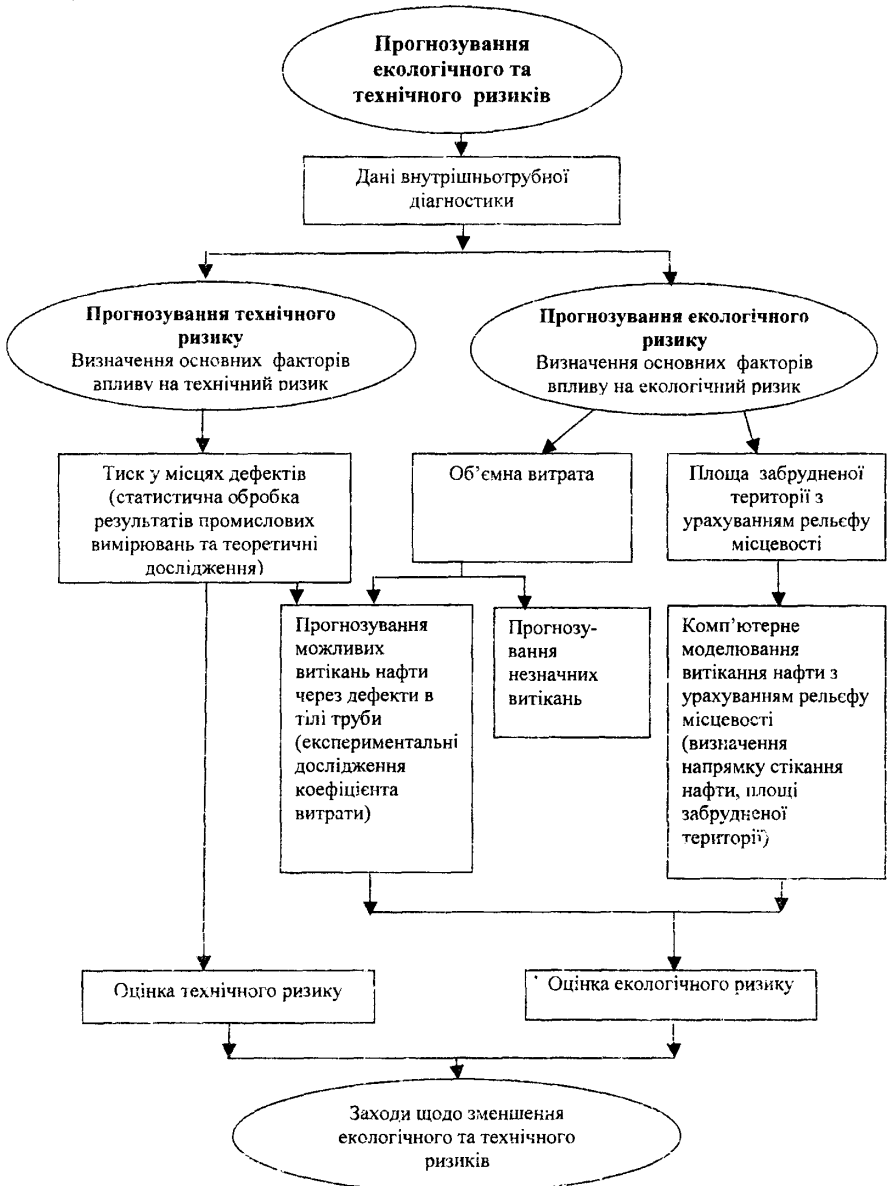


Рис. 1. Схема прогнозування ризиків при експлуатації магістральних нафтопроводів

На основі статистичної обробки результатів експериментів одержана така залежність для визначення коефіцієнта витрати μ при витіканні через некруглий отвір, форма якого близька до ромба (межі використання $1 \leq \frac{l}{b} \leq 10$):

$$\mu = 0,62 + 0,0612 \cdot \lg \frac{l}{b}, \quad (1)$$

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

Адекватність запропонованої залежності перевірена шляхом порівняння з відомими залежностями, в яких для визначення коефіцієнта витрати використовується гідравлічний радіус. Оскільки при аварійних ситуаціях визначити лише найбільші поздовжні та поперечні розміри набагато простіше, ніж гідравлічний радіус, то формула (1) більш доступніша у використанні.

Дослідивши залежності для отворів різної конфігурації та одержавши значення коефіцієнта витрати, можна визначити кількість рідини, що витече з отвору в разі виникнення аварійної ситуації, та спрогнозувати екологічний ризик.

Використовуючи окремо технічний або екологічний ризики, не можна дати

правильної оцінки небезпеки тієї чи іншої ділянки. Тому в роботі застосовується адаптаційний метод рангової класифікації для визначення небезпечних ділянок трубопроводів, на основі якого побудована графічна залежність технічного ризику від екологічного (рис. 2). Згідно з методом рангової класифікації виділено чотири ділянки в порядку

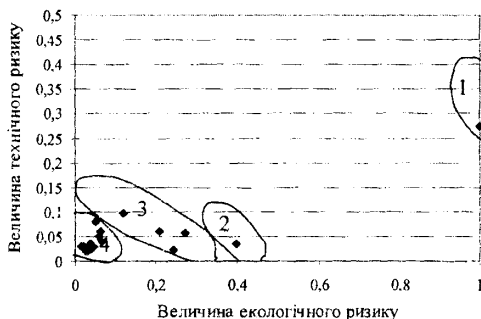


Рис. 2. Залежність технічного ризику від екологічного

послідовності проведення заходів для попередження аварій. Найбільш небезпечним при експлуатації нафтопроводу є пошкодження, що відповідає області 1, помірно небезпечними є дефекти, що обмежені областями 2 і 3.

У роботі також пропонується динамічний метод визначення незначних (1 % від об'єму перекачування) витікань у трубопроводах з різко пересіченим профілем з урахуванням температурного розширення та об'ємного стиснення рідини і наявності парогазових пустот.

Третій розділ присвячений дослідженню впливу факторів на технічний ризик.

З метою прогнозування технічного ризику використано дані довготривалих промислових експериментів на трубопроводі Долина-Дрогобич, проведено аналіз

інформативності ознак, які впливають на перепад тиску в трубопроводі, за мірою Кульбака.

На основі статистичної обробки експериментальних даних, використовуючи кореляційний та регресійний аналізи, побудовано математичну модель, яка пов'язує перепад тиску з найбільш інформативними параметрами,

$$\Delta p = p' e^{2,59528+0,692399 \ln(Q/Q') + 26,6998 T_n' / T_n}, \quad (2)$$

де Δp – перепад тиску, МПа; p' – одиничне значення тиску, МПа; Q – об'ємна витрата, м³/с; Q' – одиничне значення об'ємної витрати, м³/с; T_n – початкова температура нафти, °С; T_n' – одиничне значення початкової температури нафти, °С.

Похибка при визначенні перепаду тиску за запропонованою залежністю (2) не перевищує 7,4 %. Проведена перевірка адекватності математичної моделі за критерієм Фішера.

Для підвищення екологічної безпеки експлуатації трубопроводів необхідно прогнозувати можливі витікання через місця пошкоджень у тілі труби. Для цього потрібно знати тиск у точці витікання. Тому в роботі наведено залежність для визначення характеру розподілу тиску по довжині трубопроводу. Для попередження забруднення довкілля при експлуатації нафтопроводу необхідно корегувати тиск на початку трубопроводу, оскільки за тривалої експлуатації початкова ділянка є найбільш небезпечною.

При експлуатації трубопроводних систем часто виникають різкі зміни в режимах роботи технологічного обладнання, які залежать від фізико-хімічних характеристик транспортованих нафт, напрямків їх транспортування, дотримання передбачених контрактами вимог адресних поставок нафти кожного сорту. В процесі заміщення легких нафт важчими, в яких суттєво відрізняються густини, наприклад, $\rho=790 \dots 900 \text{ кг/м}^3$, тиск на початку трубопроводу зростає від 3,7 МПа до 4,2 МПа, що може призвести до виникнення аварійної ситуації. Тому для прогнозування технічного ризику необхідно враховувати стрибкоподібну зміну тиску.

Система одновимірних рівнянь руху нафти в трубопроводі може бути записана так:

$$\text{– рівняння нерозривності} \quad - \frac{\partial \rho}{\partial t} = \frac{\partial(\rho v)}{\partial x}; \quad (3)$$

$$\text{– рівняння руху} \quad - \frac{\partial p}{\partial x} = \frac{\partial(\rho v)}{\partial t} + \frac{\partial(\alpha \rho v^2)}{\partial x} + \rho g \sin \varphi + \frac{\lambda}{2D} \rho v^2, \quad (4)$$

де ρ – густина нафти; t – час; v – середня швидкість нафти; x – лінійна координата; p – тиск; α – коефіцієнт нерівномірності розподілу швидкостей; g – прискорення вільного падіння; φ – кут нахилу трубопроводу до горизонталі, λ – коефіцієнт гідравлічного опору; D – внутрішній діаметр.

Відомі числові методи реалізації розглянутої системи рівнянь (3, 4) вимагають значних затрат при розрахунках, пов'язаних з підготовкою вихідних даних. Ці методи непридатні у випадках прогнозування аварійних режимів експлуатації, оскільки не дозволяють знайти оперативне рішення для попередження пошкодження трубопроводу. Тому в дисертації запропонована методика спрощеної аналітичної реалізації задачі.

Після інтегрування, перетворень і спрощень отримасмо

$$P_x = P_{II} - \frac{x}{l}(P_{II} - P_K) + \Delta p \left(\frac{l-x}{l} + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{2}{n\pi} \sin \frac{n\pi(l-x)}{l} * e^{-n^2 \pi^2 b^2 t / l^2} \right), \quad (5)$$

де p_{II} – тиск на початку трубопроводу без урахування його стрибкоподібної зміни; x – лінійна координата; l – довжина трубопроводу; p_K – тиск у кінці трубопроводу; Δp – стрибкоподібна зміна тиску; t – час; $b^2 = A_0/A$, де $A_0 = c^2/S$; $A = 2a/S$; c – швидкість поширення збурень; S – площа поперечного перерізу труби; $2a$ – коефіцієнт лінеаризації.

Результати розрахунків розподілу тисків у трубопроводі за (5) показують, що запропонована залежність відтворює реальні процеси згасання стрибкоподібної зміни тиску в часі та по довжині трубопроводу.

Четвертий розділ присвячений дослідженню екологічного та технічного ризиків при експлуатації неізотермічних нафтопроводів з пересіченим профілем траси.

На початковій ділянці неізотермічних нафтопроводів спостерігається значний перепад температур, який впливає на навколишнє середовище (для підземних нафтопроводів – ґрунт на глибині прокладання трубопроводів). Особливо небезпечними є аварійні ситуації на цій ділянці, де можуть відбуватися витікання нафти за температур до 50–70 °С.

При транспортуванні високов'язких застигаючих нафт з початковою температурою підігріву до 70 °С у зимовий період навколо нафтопроводу з'являється ареал розтоплення, що призводить до утворення нових смуг стікання вздовж труби, винесення ґрунту і т. д. Використання теплоізоляції лише уповільнює процеси утворення розтоплених ареал навколо “тепліх” трубопроводів. Теплова дія трубопроводу на навколишнє середовище триває протягом усього терміну служби споруди. Тому особливу увагу потрібно звернути на зведення до мінімуму теплового забруднення навколишнього середовища та безаварійну експлуатацію неізотермічних нафтопроводів.

Для реалізації поставленої мети необхідно знати характер розподілу тиску та температури нафти вздовж неізотермічного трубопроводу.

Дослідженням в області перекачування нафт та впливу різноманітних факторів на тепловий та гідравлічний режими присвячені роботи В.М.Агапкіна,

Р.А. Алієва, Н.А. Гарріс, Г.М.Гематудінова, Б.Л.Кривошеїна, А.Х. Мірзаджанзаде, В.Ф. Новосьолова, М.Д. Середюк, П.І. Тугунова, К.Д. Фролова та ін.

З аналізу літературних джерел впливає необхідність врахування впливу температури на характер розподілу тиску. На тепловий розрахунок нафтопроводів впливає повний коефіцієнт теплопередачі, похибка при визначенні якого за відомими залежностями складає більше 20%.

Тому досліджено вплив перепаду температур в трубопроводі на коефіцієнт теплопередачі. На основі даних промислових вимірювань на нафтопроводі Долина-Дрогобич побудовано рівняння регресії, яке пов'язує повний коефіцієнт теплопередачі K з перепадом температур ΔT ,

$$K = 4,110765 + 0,035257 \cdot \Delta T, \quad (6)$$

де ΔT – перепад температур, $\Delta T = T_{II} - T_K$; T_{II} – температура нафти на початку нафтопроводу; T_K – температура нафти в кінці нафтопроводу.

Середні значення коефіцієнтів теплопередачі, визначені за залежністю (6) та отримані шляхом обробки диспетчерських даних для цього нафтопроводу, практично співпадають.

Для прогнозування технічного та екологічного ризиків при експлуатації неізотермічних трубопроводів сформульована математична модель, в якій тепловий та гідравлічний розрахунки розглядаються у взаємозв'язку, а повний коефіцієнт теплопередачі визначається за запропонованою математичною залежністю (6)

$$\frac{dp}{dx} = \frac{[K\pi D \cdot (T - T_0)] \frac{\partial \Phi_1}{\partial T} + \Phi_2 \frac{\partial \Phi_3}{\partial T}}{\frac{\partial \Phi_1}{\partial T} \cdot \frac{\partial \Phi_3}{\partial p} - \left(1 + \frac{\partial \Phi_1}{\partial p}\right) \cdot \frac{\partial \Phi_3}{\partial T}}; \quad (7)$$

$$\frac{dT}{dx} = \frac{\Phi_2 \frac{\partial \Phi_3}{\partial p} + \frac{\partial \Phi_1}{\partial p} [K\pi D \cdot (T - T_0)]}{\left(1 + \frac{\partial \Phi_1}{\partial p}\right) \cdot \frac{\partial \Phi_3}{\partial T} - \frac{\partial \Phi_1}{\partial T} \cdot \frac{\partial \Phi_3}{\partial p}}, \quad (8)$$

де p – тиск; x – лінійна координата; K – повний коефіцієнт теплопередачі від нафти в навколишнє середовище; D – внутрішній діаметр труби; T – поточна температура; T_0 – температура навколишнього середовища;

$$\Phi_1 = \frac{M^2}{S^2 \rho}; \quad \Phi_2 = \frac{\lambda M^2}{2D \rho S^2} + \rho g \sin \alpha; \quad \Phi_3 = MI,$$

де M – масова витрата; S – площа поперечного перерізу трубопроводу; ρ – густина нафти; λ – коефіцієнт гідравлічного опору; g – прискорення вільного падіння; α – кут нахилу трубопроводу до горизонталі; I – ентальпія.

Система рівнянь розв'язана за допомогою чисельного методу Рунге-Кутта з використанням програми "Excel".

Оскільки, враховуючи характер розподілу тиску вздовж трубопроводу, прогнозоване значення можливих витікань за розрахованими значеннями тисків згідно з залежністю (7) та промисловими вимірюваннями не відрізняється більше, ніж на 5%, то математичну модель можна використовувати для прогнозування витікань та тепловиділень у навколишнє середовище при експлуатації магістральних нафтопроводів.

Удосконалення даної методики полягає в запропонованій математичній моделі визначення повного коефіцієнта теплопередачі залежно від перепаду температур нафти, а також у простоті її реалізації.

Характер розподілу температури вздовж трубопроводу дає можливість виявити найбільш небезпечні ділянки відносно теплового забруднення.

П'ятий розділ присвячений розробці комп'ютерної технології моделювання витікань нафти з трубопроводу та прогнозування зони забруднення. У розділі наведено рекомендації, спрямовані на підвищення екологічної безпеки експлуатації трубопроводів.

Згідно зі складеною блок-схемою розроблена комп'ютерна технологія моделювання витікання нафти з трубопроводу та прогнозування зони забруднення, що створена у вигляді програмного продукту Vytik для Windows.

Вихідними даними для програми Vytik є: карта в горизонталях місцевості, по якій проходить трубопровід, із зображенням трубопроводу на ній; відстань від початку трубопроводу на карті до місця витікання нафти (км) або координати точки витікання на карті (м); об'єм нафти, що витекла з трубопроводу, м³.

В основі алгоритму розрахунку траєкторії витікання лежить метод найшвидшого спуску. Для побудови різко пересіченого рельєфу використані методи трикутників з лінійною інтерполяцією та сплайн-інтерполяції.

При використанні даної програми Vytik отримуємо зображення траєкторії витікання та площі забруднення, а також кількісне значення площі забруднення та рівня розлитої нафти (рис. 3).

Аналіз досліджень показав, що рельєф місцевості має значний вплив на величину площі забруднення. При комп'ютерному моделюванні можливих витікань величиною 100м³ розподіл площі забруднення, в залежності від місцезнаходження пошкодження по довжині трубопроводу, дає можливість виявити ділянки трубопроводу, у разі порушення герметичності яких постійні чи тимчасові пошкодження ґрунту перевищують значення прийнятного ризику (5га). На цих ділянках рекомендується знизити технічний ризик за рахунок використання поси-

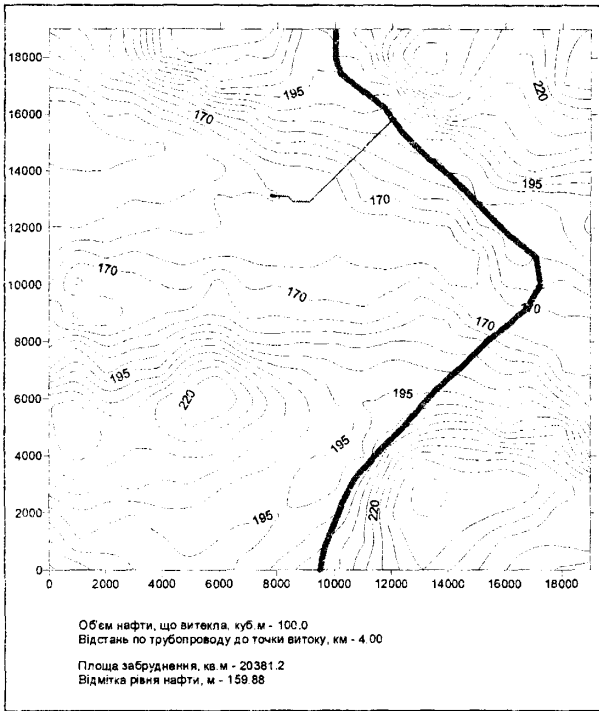


Рис. 3. Моделювання витікань нафтопродукту з трубопроводу та прогнозування забруднення території

леної ізоляції або труб із більшою товщиною стінки. Тому ще на стадії проектування трубопроводів необхідно використовувати геоінформаційне моделювання, яке є методологічною основою прогнозування екологічних та соціальних наслідків аварій на магістральних трубопроводах.

На основі даної комп'ютерної технології розроблено стандарт підприємства, який затверджений у філії “Магістральні нафтопроводи “Дружба” ВАТ “Укртранснафта”.

Наведено рекомендації для визначення кількості нафти, що вилілася з аварійного

отвору, з урахуванням фільтраційних властивостей ґрунту.

Розрахунок розподілу кількості розлитої нафти дає порівняння кількості нафти, яка просочується з поверхні землі, випаровується та стікає по рельєфу місцевості, з якого випливає, що за різко пересіченого профілю траси у випадку аварійних витікань основна маса нафти стікає по схилах, а за наявності в зоні розтікання водних об'єктів – забруднює їх.

Для прогнозової оцінки забруднення навколишнього середовища нафтою використано показник екологічної небезпеки $Ke.\delta(t)$, яку створює нафтопровід у випадку його відмови. Матриця результатів розрахунків вказує, що в даному випадку найінтенсивнішому забрудненню піддалися водні об'єкти, а найменшому – атмосферне повітря.

Результати роботи направлені на підвищення екологічної безпеки експлуатації нафтопроводів і дають можливість оцінити прогнозований екологічний ризик.

Кількісна оцінка рівня екологічного ризику (або абсолютне значення екологічного ризику) не дає можливості вирішення питання про його прийнятність чи неприйнятність. Тому вводиться поняття відносного екологічного ризику $R_{ек.в}$, який дозволяє порівняти реальне значення ризику $R_{ек.дійсне}$ з його максимально допустимим значенням $R_{ек.доп}$ (при цьому для розрахунків береться середня частота відмов на магістральних нафтопроводах, щоб не нівелювався вплив екологічних показників)

$$R_{ек.в} = \frac{R_{ек.дійсне}}{R_{ек.макс.доп}} = \frac{\lambda}{\lambda_{сер}} \cdot \sum_{i=1}^n \frac{Q_i}{Q_{макс}} \cdot \sum_{i=1}^n \frac{S_i}{S_{макс}} \cdot n, \quad (9)$$

де λ – частота виникнення аварій, $1/(\text{рік} \cdot \text{км})$; $\lambda_{сер}$ – середньостатистична частота виникнення аварій, $1/(\text{рік} \cdot \text{км})$; n – кількість дефектів в тілі труби (за результатами діагностування); Q_i – прогнозована витрата нафти; $Q_{макс}$ – максимально допустима витрата нафти; S_i – площа забруднення при витраті Q_i , визначена внаслідок комп'ютерного моделювання витікань; $S_{макс}$ – максимально допустима площа забруднення.

Розрахунки за формулою (9) показують, що відносний екологічний ризик для ділянки трубопроводу становить $R_{ек.в} = 0,041$.

Якщо максимальний відносний екологічний ризик прийняти $R_{ек(max).в} = 1$, то досліджувану ділянку трубопроводу можна віднести до сприятливої в екологічному відношенні.

Відносний технічний ризик при експлуатації трубопроводу оцінюється за такою залежністю:

$$R_{Т.в} = \frac{\lambda}{\lambda_{сер}} \sum_{i=1}^n \frac{P_{експ.і}}{P_{н.і}} \cdot n, \quad (10)$$

де $P_{експ.}$ – експлуатаційний тиск; p_n – значення пониженого тиску з урахуванням втрат металу.

Для ділянки трубопроводу $R_{Т.в} = 0,235$.

Розроблена система прогнозування ризиків дозволяє ранжувати заходи за їх пріоритетами і одержувати максимальне зниження ризику чи максимальні попереджені збитки на одиницю вкладених грошей в промислово-екологічну безпеку підприємства.

ВИСНОВКИ

На основі узагальнення результатів аналітичних та експериментальних досліджень розв'язана важлива задача зменшення впливу магістральних нафтопроводів з пересіченим профілем траси при їх експлуатації на довкілля шляхом прогнозування ризиків небезпеки.

1. Аналіз стану проблеми з екологічної безпеки експлуатації магістральних нафтопроводів, а також результатів внутрішньотрубного діагностування інтелектуальними поршнями вказав на важливість дослідження факторів (коефіцієнта витрати, розподілу тиску), від яких залежить величина витікання нафти в разі виникнення аварійних ситуацій, та траєкторії витікання, яка впливає на площу забруднення території та збитки, нанесені довкіллю.

2. У результаті обробки експериментальних досліджень процесу витікання рідини одержано удосконалені залежності для визначення коефіцієнта витрати для отворів некруглої форми. Використання запропонованих залежностей дасть змогу визначити дійсну витрату нафти для прогнозування екологічного ризику. Достовірність одержаних залежностей перевірена шляхом зіставлення з даними аварійної ситуації на одному із нафтопроводів. Похибка при визначенні об'єму витікання склала 4,7%.

3. Доцільно використовувати адаптаційний метод рангової класифікації, розглядаючи технічний та екологічний ризики у взаємозв'язку, що дасть змогу визначати небезпечні ділянки трубопроводу та планувати послідовність проведення заходів для підвищення екологічної безпеки експлуатації магістральних нафтопроводів.

4. Критерій технічного ризику для дефектів на ділянці нафтопроводу, що досліджувалася, коливався в межах від 0,021 до 0,274. Тому для корегування тисків у процесі транспортування та прогнозування технічного ризику доцільно використовувати рівняння регресії, отримані внаслідок статистичної обробки довготривалих промислових досліджень, які охоплюють увесь спектр стаціонарних режимів експлуатації. Оскільки заміщення легких нафт важчими, в яких суттєво відрізняються густини ($\rho = 790 \dots 900 \text{ кг/м}^3$), призводить до зростання тиску на початку трубопроводу від 3,7 МПа до 4,2 МПа, що може бути причиною аварійної ситуації, тому запропоновано математичну модель спрощеної аналітичної реалізації задачі визначення розподілу тиску по довжині трубопроводу з урахуванням його стрибкоподібної зміни для прогнозування технічного ризику.

5. Побудована математична модель руху нафти, в якій розглядається вплив температури на гідравлічний розрахунок нафтопроводу з пересіченим профілем траси та повний коефіцієнт теплопередачі визначається за удосконаленими залежностями. Перепад тиску, визначений за допомогою математичної моделі, відрізняється від промислових вимірювань на 5,2%, що свідчить про адекватність даної моделі реальним процесам та можливість її використання для прогнозування технічного та екологічного ризиків.

6. Розроблена методика комп'ютерного моделювання розтікання нафти внаслідок можливого виникнення аварійної ситуації, за допомогою якої визначається напрям течії нафти з урахуванням заповнення улоговин та площа

забрудненої території залежно від рельєфу місцевості, що дає змогу прогнозувати екологічний ризик та впроваджувати заходи з метою його попередження. Розроблено стандарт підприємства “Комп’ютерне моделювання витікання нафти з трубопроводу та прогнозування зони забруднення”, який затверджено у філії “Магістральні нафтопроводи “Дружба” ВАТ “Укртранснафта”. Очікуваний економічний ефект від реалізації стандарту підприємства у Дрогобицькому нафтопровідному управлінні відповідно до акта впровадження становить 131 тис. грн./рік.

7. Запропоновано методичні основи прогнозової оцінки відносного екологічного та технічного ризиків, які дозволяють порівняти реальне значення ризику з його максимально допустимим значенням. При цьому відносний екологічний ризик для досліджуваної ділянки трубопроводу становить $R_{ек.е}=0,041$, а відносний технічний ризик – $R_{т.е}=0,235$.

Основний зміст дисертаційної роботи опубліковано в таких працях:

1. Возняк М.П., Кривенко Г.М., Возняк Л.В. Математична модель неізотермічного руху високов’язкої парафінової нафти з урахуванням її неньютонівської поведінки // Нафтова і газова промисловість. – 1996. – №4. – С.41-42.
2. Кривенко Г.М., Возняк М.П., Возняк Л.В. Математичне моделювання повного коефіцієнта теплопередачі для нафтопроводу // Нафтова і газова промисловість. – 2001. – №5. – С.41-42.
3. Кривенко Г.М. Покращення екологічного стану в районах проходження траси нафтопродуктопроводів // Розвідка і розробка нафтових і газових родовищ. – Івано-Франківськ. – 2000. – Т.5, №37. – С.181-182.
4. Кривенко Г.М. Аналіз інформативності ознак на перепад тиску в трубопроводі // Розвідка і розробка нафтових і газових родовищ.– Івано-Франківськ. – 2001. – Т.6, №37. – С.171-175.
5. Кривенко Г.М., Семчук Я.М., Возняк М.П. Дослідження процесу витікання рідини при виникненні аварійної ситуації // Розвідка і розробка нафтових і газових родовищ. – Івано-Франківськ. – 2001. – Т.5, №38. – С.120-123.
6. Кривенко Г.М. Прогнозування технічних ризиків з’єднувальних трубопроводів підземних сховищ // Науковий вісник Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу. – 2004. – №2(8). – С.190-191.
7. Кривенко Г.М., Семчук Я.М., Возняк М.П., Возняк Л.В. Класифікація дефектів з’єднувальних трубопроводів підземних сховищ // Науковий вісник Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу. – 2004. – №2(8). – С.192-193.

8. Семчук Я.М., Кривенко Г.М., Дрогомирецький Я.М., Говдяк Р.М. Аналіз сучасного стану досліджень надійності магістральних нафтогазопроводів та причин і умов їх відмови // Розвідка і розробка нафтових і газових родовищ. – Івано-Франківськ. – 2001. – Т.5, №38. – С.159-166.
9. Семчук Я.М., Кривенко Г.М., Гораль Л.Т., Говдяк Р.М. Технічний та екологічний ризику при експлуатації магістральних трубопроводів // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – 2001. – №1. – С.68-70.
10. Возняк М.П., Кривенко Г.М. Аналіз інформативності різних ознак відносно ефективного діаметра нафтопроводу // Нафта і газ України. Збірник наукових праць: Матеріали 6-ої Міжнародної науково-практичної конференції “Нафта і газ України – 2000”. – Том 3. – Івано-Франківськ. – 2000. – С.111-115.
11. Кривенко Г.М. Визначення небезпечних ділянок трубопроводів за допомогою методу рангової класифікації // Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції “Україна наукова’2003”. – Том 15. Екологія. – Дніпропетровськ: Наука і освіта. – 2003. – С.16-17.
12. Семчук Я.М., Кривенко Г.М. Використання геоінформаційних систем в трубопровідному транспорті // Тези доповіді науково-технічної конференції професорсько-викладацького складу ІФДТУНГ. – 2001. – С.166-167.

АНОТАЦІЯ

Кривенко Г.М. Прогнозування екологічного та технічного ризиків при експлуатації магістральних нафтопроводів з пересіченим профілем траси. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 21.06.01 – екологічна безпека. Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу. Івано-Франківськ, 2005.

Присвячена прогнозуванню екологічного та технічного ризиків при експлуатації магістральних нафтопроводів із пересіченим профілем траси шляхом комплексного дослідження факторів, що впливають на них. У роботі проведено аналіз стану екологічної безпеки нафтопроводів. Проведені експериментальні дослідження процесу витікання рідини дали змогу одержати залежності для визначення коефіцієнта витрати, який впливає на кількість нафти, що витече з дефектного отвору в разі виникнення аварійної ситуації, та екологічний ризик.

Визначено небезпечні ділянки трубопроводів за допомогою методу рангової класифікації. Одержано рівняння регресії для визначення перепаду тиску в трубопроводі для прогнозування технічного ризику. Запропоновано залежність для визначення тиску з урахуванням його стрибкоподібної зміни. Побудовано математичну модель руху нафти для прогнозування технічного та екологічного ризиків при експлуатації неізотермічних нафтопроводів. Здійснено комп’ютерне моделювання процесу витікання нафти для прогнозування екологічного ризику.

Дана прогнозна оцінка відносного екологічного та технічного ризиків при експлуатації нафтопроводів.

Ключові слова: нафтопровід, екологічний ризик, технічний ризик, тиск, витрата, екологічна безпека.

АННОТАЦИЯ

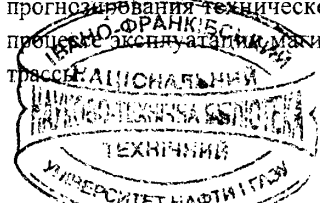
Кривенко Г.М. Прогнозирование экологического и технического рисков при эксплуатации магистральных нефтепроводов с пересеченным профилем трассы. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 21.06.01 – экологическая безопасность. Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа. Ивано-Франковск, 2005.

Посвящена прогнозированию экологического и технического рисков при эксплуатации магистральных нефтепроводов с резко пересеченным профилем трассы путем комплексного исследования факторов, что влияют на них. В ней приводится анализ состояния проблемы экологической безопасности нефтепроводов, причин возникновения аварийных ситуаций на нефтепроводах, рассматривается влияние трубопроводного транспорта на окружающую среду, методы диагностирования трубопроводов для обнаружения дефектов.

Проведенные экспериментальные исследования процесса истечения жидкости и их статистическая обработка были направлены на получение зависимостей для определения коэффициента расхода, который влияет на количество вытекшей нефти из дефектного отверстия при возникновении аварийной ситуации и экологический риск. Определены опасные участки трубопровода с помощью метода ранговой классификации. Приводится динамический метод определения незначительных истечений в трубопроводах с резко пересеченным профилем трассы с учетом температурного расширения, объемного сжатия и наличия парогазовых пустот.

Дана оценка влияния факторов на технический риск. В результате обработки промысловых измерений получены уравнения регрессии для определения перепада давления в трубопроводе с целью прогнозирования технического риска. Определен характер распределения давления по длине нефтепровода для прогнозирования объема истечения нефти из дефектного отверстия в случае возникновения аварийной ситуации. Предложена зависимость для определения давления с учетом его скачкообразного изменения. Упрощенная аналитическая реализация данной зависимости может быть использована для прогнозирования технического риска при скачкообразном изменении давления в процессе эксплуатации магистрального нефтепровода с пересеченным профилем трассы.



Построена математическая модель движения нефти для прогнозирования технического и экологического рисков при эксплуатации неизотермических нефтепроводов, где взаимосвязано рассматриваются гидравлический и температурный режимы, а полный коэффициент теплопередачи определяется по зависимостям, полученным в результате статистической обработки промышленных измерений. Предложена реализация модели с помощью численного метода Рунге-Кутты с использованием программы “Excel”. Полученная зависимость распределения температур по длине трубопровода дает возможность определить наиболее опасные участки относительно теплового загрязнения.

Осуществлено компьютерное моделирование процесса истечения нефти для определения направления течения и площади загрязненной территории с целью прогнозирования экологического риска. Исходными данными для программного продукта Vytik для Windows есть карта в горизонталях местности, где проходит трубопровод, с изображением трубопровода на ней, координаты точки истечения на карте, объем вытекшей нефти. Алгоритм расчета траектории истечения построен согласно метода скорейшего спуска. Для построения резко пересеченного рельефа использованы методы треугольников с линейной интерполяцией и сплайн-интерполяции. Показано, что рельеф местности значительно влияет на величину площади загрязнения.

Для прогнозной оценки загрязнения окружающей среды нефтью использован показатель экологической опасности. Дана оценка относительного экологического и технического рисков при эксплуатации нефтепроводов. Разработан стандарт предприятия “Компьютерное моделирование истечения нефти из трубопровода и прогнозирование зоны загрязнения”, который утвержден в филиале “Магистральные нефтепроводы “Дружба” ВАТ “Укртранснефть”.

Ключевые слова: нефтепровод, экологический риск, технический риск, давление, расход, экологическая безопасность.

ABSTRACT

Krivenko G.M. Forecast of ecological and technical risks by exploitation of main oil pipelines with cross profile of trace – Manuscript.

This Thesis is to gain the scientific degree of the Candidate of Technical Sciences according to the speciality 21.06.01 – ecological safety – Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, Ivano-Frankivsk, 2005.

The dissertation is devoted to investigation of the problem for forecast ecological and technical risks by exploitation of oil pipeline with cross profile of trace. Analysis of dangerous situations on the pipelines is shown. Experimental research of discharge through the orifices of different form and statistical calculation this data are given the formula for determination of coefficient of discharge. This coefficient has influence on the forecast of volume rate through the crifices on the body of pipeline by evaluation of

ecological risk. Dangerous parts of pipeline are given with method of range classification. Dynamic method for describe the little loss of oil is given. Evaluation of influence of factors on the technical risk and calculation of measurements pressure, temperature, volume rate, viscosity and density on the oil pipeline helped to get the equation of regression for distribution the pressure across the length of the pipeline for forecast the risk. The created mathematical model of distribution the pressure when flow is unsteady that must account by safe exploitation. Developed mathematical model of flow of oil allows to calculate thermal and hydraulic processes, studied in mutual connection and the coefficient of thermal transmission is calculated by the prepositional equation. Computers model the flow of oil through the forecast orifices gives the direction and covered of oil area and allows to forecast the ecological risk. Evaluation of ecological and technical risks for oil pipeline is given.

Key words: oil pipeline, ecological risk, technical risk, pressure, rate, ecological safety.