

Івано-Франківський державний технічний  
університет нафти і газу

ГОВДЯК РОМАН МИХАЙЛОВИЧ

504,61  
622.692.4.07+502.7:622.692.4

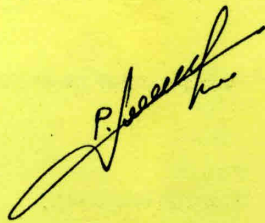
УДК 504.054:622.691.4

Г57

**УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО  
ПРОЕКТУВАННЯ НАФТОГАЗОПРОВІДІВ З  
ВРАХУВАННЯМ ЇХ ВЗАЄМОДІЇ З ДОВКІЛЛЯМ**

Спеціальність 05.15.13 – нафтогазопроводи, бази та сховища

**АВТОРЕФЕРАТ**  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук



Івано-Франківськ - 2001

Дисертацією є рукопис.

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

**Науковий керівник** доктор технічних наук *Семчук Ярослав Михайлович*, Івано-Франківський державний технічний університет нафти і газу, завідувач кафедри безпеки життєдіяльності

**Офіційні опоненти:**

доктор технічних наук, професор *Грудз Володимир Ярославович*, Івано-Франківський державний технічний університет нафти і газу, завідувач кафедри спорудження та ремонту газонафтопроводів і газонафтосховищ, м. Івано-Франківськ.

кандидат технічних наук *Розгонюк Василь Васильович*, заступник голови правління НАК "Нафтогаз України", м. Київ

**Провідна установа** *ІВП Всеукраїнський науковий і проектний інститут транспорту газу "ВНПІТРАНСГАЗ"*, м. Київ

Захист відбудеться "20" липня 2001 р. о 14 год 00 хв. на засіданні спеціалізованої вченої ради Д20.052.04 в Івано-Франківському державному технічному університеті нафти і газу за адресою: 76019, Україна, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15.

З дисертацією можна ознайомитись в науково-технічній бібліотеці Івано-Франківського державного технічного університету нафти і газу за адресою: м. Івано-Ф

Авторе

Вчений спеціал канд. т

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** В умовах неперервної зростаючої ролі магістральних трубопроводів як засобів транспортування рідких та газоподібних нафтопродуктів, що розташовані у густозаселених регіонах України, у різних кліматичних зонах та інженерно-геологічних умовах, проблема охорони навколишнього середовища є дуже актуальною.

Зараз при проектуванні нафтогазотранспортної системи існуючі будівельні норми і правила недостатньо враховують їх вплив на довкілля. Проектування ведеться без попередньої оцінки та аналізу ризику при експлуатації трубопроводів, а забезпечення безпеки, в основному, зводиться до формального дотримання розривів між трасою та об'єктами інфраструктури регіону. Але, як показав аналіз великомаштабних аварій на магістральних нафтогазопроводах, внаслідок їх спрацювання та під дією техногенних, природних та антропогенних факторів вони стають небезпечними об'єктами для довкілля: порушують природний режим ґрунтів та водних об'єктів, забруднюють атмосферу, часто створюють екологічні лиха.

Недостатній рівень дослідженості тематики з удосконалення технологічного проектування нафтогазопроводів з врахуванням їх впливу на довкілля та відсутність досвіду раціонального його використання є основною причиною постановки даної роботи.

Вибір і актуальність даної роботи зумовлений ще й тим, що в Україні планується до експлуатації магістральний нафтопровід Одеса – Броди, проектується система газопроводів Ананьїв – Ізмаїл. А тому розроблені у дисертації методичні і наукові основи прогнозування впливу на довкілля магістральних нафтогазопроводів, при їх відмові, можуть бути використані при проектуванні цих та інших трубопроводів.

Удосконалення технологічного проектування магістральних нафтогазопроводів призведе до підвищення їх надійності при експлуатації, що в кінцевому підсумку зменшить вплив трубопроводів на довкілля.

### **Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами**

Вибраний напрямок роботи досліджень є складовою частиною тематичного плану ВАТ “Укргазпроект” (1996-2000рр.) Власне, дисертація пов'язана з науково-дослідною роботою “Основні положення надійності, довговічності і безпечності продуктопроводів ШФЛВ із району Сургута” (договір 3-1-96-2), а також з дослідними роботами щодо розширення системи магістральних газопроводів на дільницях Ананьїв – Ізмаїл (замовлення 3225.ТЕО). Крім цього, дана робота є попереднім підсумком багаторічної діяльності автора дисертації із співробітниками Управління НТДПБ ДАО Газпром та ВНДІГАЗУ (Росія) і низкою інших організацій показниками на



14/04

### Мета роботи і задачі дослідження

Мета роботи полягає у прогнозуванні та зменшенні впливу на довкілля відмов нафтогазопроводів шляхом удосконалення технологічного їх проектування на основі визначення кількісної оцінки ризику, критеріїв, індексів небезпеки з використанням фізичного та математичного моделювання.

Для досягнення поставленої у дисертації мети сформульовані наступні задачі досліджень:

- провести аналіз причин відмов вітчизняних і зарубіжних нафтогазопроводів;
- розробити методи прогнозного розрахунку масштабного забруднення нафтопродуктами компонентів навколишнього середовища;
- дослідити проникність нафтопродуктів різної густини і в'язкості через ґрунти різної пластичності;
- розробити фізичну обґрунтовану модель для вивчення процесів забруднення нафтопродуктами водних об'єктів та проникних ґрунтів;
- розробити методику розрахунку витоку газу із магістральних газопроводів при їх відмовах;
- розробити методичні основи кількісної оцінки ризику, індексів небезпеки при відмовах нафтопродуктопроводів та газопроводів;
- скорегувати концепцію надійної експлуатації магістральних нафтогазопроводів.

*Об'єктом дослідження є лінійна частина магістральних нафтогазопроводів, розташованих в Україні та продуктопроводів, запроектованих із району Сургута (Росія).*

*Предмет дослідження - удосконалення технологічного проектування нафтогазопроводів.*

*Методи дослідження представляють комплекс, що містить: аналіз досвіду експлуатації нафтогазопроводів; лабораторні експерименти; фізичне та математичне моделювання з використанням засобів обчислювальної техніки.*

### Наукова новизна отриманих результатів

1. Вперше одержано математичний розв'язок для прогнозування масштабів забруднення навколишнього середовища та його компонентів при відмовах магістральних нафтопроводів за допомогою матриці основних показників екологічної небезпеки.

2. Довготривалими експериментальними лабораторними дослідженнями вивчено і обґрунтовано явище проникності нафтопродуктів різної в'язкості та густини через ґрунти різного літологічного складу.

3. За допомогою фізичної моделі виявлені закономірності формування нафтового забруднення у воді та ґрунтах при відмовах нафтопроводів.

4. Розроблена математична модель витрат газу при відмові магістральних газопроводів на повний переріз та розроблена програма для прогнозування об'єму витоку газу та зміну тиску з часом.

небезпеки

забезпечення

5. Розроблені методичні основи прийнятого ризику при відмовах магістральних газопроводів (ШФЛВ).

6. На основі аналізу багаторічної експлуатації вітчизняних і зарубіжних магістральних нафтогазопроводів скореговано концепцію їх надійності.

#### **Практичне значення отриманих результатів полягає:**

1. У розробці методичних вказівок з визначення критеріїв щодо прогнозування екологічної небезпеки при аваріях на магістральних нафтогазопроводах.

2. У розробці методичних основ кількісної оцінки допустимого ризику у випадку відмови трубопроводів при транспортуванні зріджених газів (ШФЛВ). Розроблені названі вище положення дисертації лягли в основу проектування продуктопроводів із району Сургуту, а також при проектуванні газопроводів: Тальне – Ананьїв, Ананьїв – Ізмаїл, Хуст – Сату-Маре, Богородчани – Хуст, причому автор дисертації був головним інженером цих проектів. Крім цього, розроблені критерії прогнозування екологічної небезпеки при відмовах нафтопроводів можна використати при експлуатації трубопроводу “Одеса – Броди”.

#### **Особистий внесок здобувача**

Основні положення та результати дисертаційної роботи, отримані автором самостійно. Власне, сформульовані мета та задачі досліджень; одержані критерії для прогнозування екологічної небезпеки при відмові магістральних нафтопродуктопроводів [1]; вивчено і обґрунтовано явище проникності нафтопродуктів через ґрунти різного літологічного складу та виявлені закономірності формування нафтового забруднення у зоні аерації [2, 3]; розроблена математична модель для прогнозування витоку газу при розриві магістральних газопроводів на повний переріз [4]; розроблені методичні основи кількісної оцінки ризику при експлуатації продуктопроводів (ШФЛВ) [5, 6]; на основі аналізу і досліджень багаторічної експлуатації вітчизняних і закордонних магістральних нафтогазопроводів скореговано концепцію їх розвитку в Україні [7-10], надійності [9], енергозбереження [11-13, 14, 15].

Окремі положення дисертаційної роботи можуть бути включені в навчально-методичних посібниках для спеціальностей “Проектування і експлуатації нафтогазопроводів, газосховищ”.

#### **Апробація результатів дослідження**

Основні результати дисертаційної роботи доповідалися і обговорювалися на міжнародних конференціях і форумах: II-й міжнародній конференції з управління використання енергії (м. Львів, 1997); Міжнародній науково-практичній конференції “Проблеми і шляхи енергозабезпечення України (м. Івано-Франківськ, 1998); Міжнародній науково-практичній конференції “Нафтогазова освіта на межі тисячоліть: минуле, сьогодні, майбутнє” (м. Івано-Франківськ, 1998); VI-й Міжнародній науково-практичній конференції “Нафта і газ України – 2000” (м. Івано-Франківськ, 2000); Міжнародній науково-практичній конференції “Екологічна безпека та перспективи розвитку трубопровідного транспор-

ту та інших інженерних комунікацій” (м. Ужгород, 2000); науково-практичній конференції “Економічні переваги використання газу в якості моторного палива” (м. Харків, 1999); науково-практичній конференції “Вчені Прикарпаття про проблеми краю” (м. Івано-Франківськ, 2000); на семінарах кафедри безпеки життєдіяльності і міжкафедральному науковому семінарі факультету нафтогазопроводів Івано-Франківського державного технічного університету нафти і газу.

### **Публікації**

За темою дисертації опубліковано 15 статей у наукових журналах, збірниках, тезах доповідей, з яких 7 у фахових виданнях України.

### **Структура та обсяг роботи**

Дисертаційна робота складається з вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаної літератури, що містить 96 назв публікацій та додатків. Об'єм машинописного тексту складає 162 сторінки, 31 рисунок, 22 таблиці.

## **ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ**

У вступі обґрунтовано актуальність теми, сформульовані основні положення, які виносяться на захист, визначена наукова новизна та практичне значення отриманих результатів роботи.

У першому розділі роботи приведений аналіз сучасного стану досліджень надійності магістральних нафтогазопроводів та аналіз причин і умов їх відмови, що важливо враховувати на стадії проектування трубопроводів.

Основні причини відмови магістральних нафтогазопроводів висвітлено у роботах багатьох авторів, серед них П.П. Бородавкін, Б.І. Кім, Б.С. Рачевський, В.С. Сафонов, Г.Е. Одішарія, А.А. Швиряєв, В.В. Харіоновський, В.М. Поляков, Л.С. Шлапак, Л.Г. Телегін, Б.Е. Патон, Ю.О. Кузьменко, В.В. Розгонюк та інші.

Узагальнені результати досліджень дозволили удосконалити класифікацію основних причин відмов магістральних трубопроводів, які можна об'єднати у техногенні, природні та антропогенні групи. В загальному, всю низку дефектів, що створюються різними факторами, які можуть призвести до відмови трубопроводів можна розділити на: малі дефекти (корозійні явища); середні дефекти (тріщини) та катастрофічні дефекти (розриви на повний переріз труб, "гільйотинний розрив").

Для прогнозування потенційної шкоди доквіллю при корозійних дефектах, доцільно використовувати як статистику інтегральних об'ємів аварійних витоків розподіл Вейбула:  $F(V) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{V}{120}\right)^{0.15}\right]$ , де -  $V$  - об'єм аварійного витoku, м<sup>3</sup>.

Аналізуючи відмови магістральних нафтогазопроводів, можна зробити висновок, що розвиток тріщин, довжиною  $l$ , є найбільш вірогідною формою порушення герметичності трубопроводів та причиною забруднення доквілля. У

цьому випадку розподіл Вейбула має вигляд:  $F(l) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{l}{0,7}\right)^{1,6}\right]$ , де

$0,57 \leq l \leq 0,7$ , при гарантійній імовірності 0,9.

Як показав вітчизняний та закордонний досвід, руйнування трубопроводів на повний переріз ("гільйотинний розрив") є дуже небезпечним для довкілля, оскільки характеризується найбільшими втратами газу, нафти та нафтопродуктів. Основними причинами відмови у цьому випадку є: землерийні роботи, вандалізм, диверсія, просідання ґрунтів, зсувні процеси тощо.

Узагальнені статистичні дані (за останні 15 років) про відмови нафтогазопроводів у межах України представлені на рис.1. Встановлено, що сумарне число виявлених відмов нафтогазопроводів, в тому числі аварійних (з впливом на довкілля), змінюється від 0,25 до 0,5 рік<sup>-1</sup> на 1000 км, причому починаючи з 1993 року збільшується кількість відмов, що пов'язані з крадіжками рідкого палива (вандалізм).

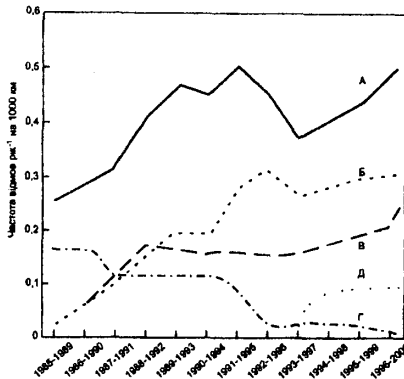


Рис. 1. Динаміка частоти відмов магістральних нафтогазопроводів України:

A — сумарне число відмов; B — заводські дефекти, дефекти монтажних-будівельних робіт, корозія; C — зовнішній механічний вплив (земляні роботи, вандалізм); D — природний вплив; E — помилки людини

Другий розділ присвячено прогнозуванню екологічної безпеки при відмові нафтопродуктопроводів на стадії проектування.

Для прогнозування оцінки забруднення довкілля запропоновано показник екологічної безпеки  $Ke\delta(t)$ , який створює нафтопровід у випадку його відмови:

$$Ke\delta(t) = E(\alpha_1^0, \alpha_2^0, \alpha_3^0), \text{ де під } (\alpha_1^0, \alpha_2^0, \alpha_3^0) \text{ слід розуміти матрицю } E = \begin{pmatrix} \alpha_1^0 & 0 & 0 \\ 0 & \alpha_2^0 & 0 \\ 0 & 0 & \alpha_3^0 \end{pmatrix}$$

основних показників екологічної безпеки відповідно у ґрунтах, воді та атмосферному повітрі. Наведену матрицю можна подати у вигляді:  $E(\alpha_1^0, \alpha_2^0, \alpha_3^0) = (I - Pt) \cdot A \cdot B$ , де  $Pt$  — імовірність безвідмовної роботи нафтопроводу протягом

певного часу  $t$ ;  $A$  – матриця очікуваної концентрації нафтопродуктів у ґрунті ( $\alpha_1$ ), воді ( $\alpha_2$ ) та повітрі ( $\alpha_3$ );  $B$  – корегуюча матриця, яка складається із обернених величин до гранично допустимих концентрацій у землі ( $\beta_1 = Hz$ ), воді ( $\beta_2 = Hв$ ), у повітрі ( $\beta_3 = Ha$ ):

$$A = \begin{pmatrix} \alpha_1 & 0 & 0 \\ 0 & \alpha_2 & 0 \\ 0 & 0 & \alpha_3 \end{pmatrix}, \quad B = \begin{pmatrix} 1/\beta_1 & 0 & 0 \\ 0 & 1/\beta_2 & 0 \\ 0 & 0 & 1/\beta_3 \end{pmatrix}. \quad (1)$$

Матриця екологічної небезпеки буде

$$E(\alpha_1^0, \alpha_2^0, \alpha_3^0) = (1 - Pt) \cdot \begin{pmatrix} \alpha_1 & 0 & 0 \\ 0 & \alpha_2 & 0 \\ 0 & 0 & \alpha_3 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 1/\beta_1 & 0 & 0 \\ 0 & 1/\beta_2 & 0 \\ 0 & 0 & 1/\beta_3 \end{pmatrix} = \quad (2)$$

$$\begin{pmatrix} \alpha_1^0 & 0 & 0 \\ 0 & \alpha_2^0 & 0 \\ 0 & 0 & \alpha_3^0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} (1 - Pt)\alpha_1/\beta_1 & 0 & 0 \\ 0 & (1 - Pt)\alpha_2/\beta_2 & 0 \\ 0 & 0 & (1 - Pt)\alpha_3/\beta_3 \end{pmatrix}. \quad (3)$$

$$\text{Маємо: } \alpha_1^0 = \frac{(1 - Pt) \cdot \alpha_1}{\beta_1}; \quad \alpha_2^0 = \frac{(1 - Pt) \cdot \alpha_2}{\beta_2}; \quad \alpha_3^0 = \frac{(1 - Pt) \cdot \alpha_3}{\beta_3}. \quad (4)$$

Тут  $\alpha_1 = Kn \cdot \rho$ ;  $\alpha_2 = Pв \cdot Cв$ ;  $\alpha_3 = Ca$ , де  $Kn$  – нафтоємність ґрунту;  $\rho$  – густина нафтопродукту, г/м<sup>3</sup>;  $Pв$  – умовна ймовірність попадання нафтопродукту у водні об'єкти;  $Cв$ ,  $Ca$  – відповідно очікувана концентрація нафтопродукту у воді та атмосфері, мг/м<sup>3</sup>. Таким чином, показники екологічної безпеки можна подати у вигляді, зручному для розрахунків:

$$\alpha_1^0 = \frac{(1 - Pt) \cdot Kn \cdot \rho}{H_3}; \quad \alpha_2^0 = \frac{(1 - Pt) \cdot Pв \cdot Cв}{H_в}; \quad \alpha_3^0 = \frac{(1 - Pt) \cdot Ca \cdot \rho}{H_a}. \quad \text{Для реалізації матри-$$

ці проведено розрахунки ступеня забруднення компонентів навколишнього середовища нафтопродуктами при відмові трубопроводу діаметром  $Dу=500$  мм, із якого витекло  $Mв = 20$  т нафтопродукту, густиною  $\rho = 0,6$  т/м<sup>3</sup>. Ймовірність безвідмовної роботи нафтопроводу для цього діаметра  $Pt = 0,8017$  (згідно з СНиП 2.05.06-85).

Очікувані концентрації нафтопродуктів у ґрунтах, воді та в атмосферному повітрі при визначенні екологічної небезпеки при відмові нафтопроводу будуть такі:

$$Ke\delta(t) = E(\alpha_1^0, \alpha_2^0, \alpha_3^0) = \begin{pmatrix} 212 & 0 & 0 \\ 0 & 1260 & 0 \\ 0 & 0 & 910 \end{pmatrix}, \quad \text{тобто в даному випадку найінтенсивнішому}$$

забрудненню нафтопродуктами піддалися ґрунтові води (1260 одиниць), а найменшому – ґрунти (212 одиниць). Проведено експериментальні, лабораторні дослідження фільтрації нафтопродуктів різної густини і в'язкості через ґрунти різного складу, пластичності і вологості при аварійних викидах нафтопродуктів.

Як фільтрувальна рідина використовувалася сира нафта густиною 865 і 875 кг/м<sup>3</sup> та дизельне паливо густиною 840 і 850 кг/м<sup>3</sup>. Кінематична в'язкість



сирої нафти при досліджах становила відповідно  $6 \cdot 10^{-6}$  і  $9 \cdot 10^{-6}$  м<sup>2</sup>/с; дизельного палива  $4,0 \cdot 10^{-6}$  і  $4,5 \cdot 10^{-6}$  м<sup>2</sup>/с.

Тривалими лабораторними дослідженнями (15-200 діб) встановлено, що алювіальні глини і суглинки мають низькі фільтраційні властивості. Коефіцієнт фільтрації ґрунтів при фільтрації через них сирої нафти і дизельного палива становить  $7,2 \cdot 10^{-6}$  –  $1,4 \cdot 10^{-4}$  м/добу. Звідси випливає, що дані ґрунти є ефективним екраном, що захищають підземні води від забруднення при аварійних викидах нафтопродуктів.

Проникність піщаних ґрунтів при фільтрації нафтопродуктів залежить в основному від ступеня водонасичення та вмісту глини; при вмісті 15-16% глини коефіцієнт фільтрації наближується до нуля.

Досліджено особливості формування нафтового забруднення зони аерації на фізичній моделі – фільтраційному лотку, виготовленому із оргскла. Робоча довжина лотка 120 см, ширина 25 см, висота 50 см. Як модель ґрунту використувався відмитий кварцовий пісок з розміром зерен 0,1-0,2 мм.

У кожену серію дослідів подавалася сира нафта густиною 865 кг/м<sup>3</sup> та кінематичною в'язкістю  $6 \cdot 10^{-6}$  м<sup>2</sup>/с.

Спостереження за зміною концентрації нафти у водному потоці у різних точках моделі показали, що відразу ж після поступлення перших порцій сирої нафти формується ареал забруднення у розвитку якого можна виділити три стадії.

1. Утворення нафтового ареалу поблизу місця подачі сирої нафти. Тут формується ділянка слабо розчинних фракцій нафти, своєрідна нафтова "інтрузія".

2. Формування дисперсної зони при горизонтальному просування нафтового ареалу.

3. Стабілізація концентрації нафти у будь-якій точці спостереження.

На фізичній моделі досліджено формування нафтового забруднення у ґрунтах, перекриваючих водоносні горизонти. В однорідних ґрунтах, коли проникність перекриваючих і водоносного горизонтів однакова, забруднення підземних вод залежить від об'єму витоку нафтопродуктів та коливання п'єзометричного рівня. У випадку, коли проникність перекриваючих ґрунтів менша за проникність ґрунтів водоносного горизонту, над водоносним горизонтом формується капілярна кайма, яка є прошарком, що розділяє ґрунти з різною проникністю. В усіх серіях дослідів встановлено, що нафтове "тіло" насичення розміщується вище капілярної кайми і не знаходиться у прямому контакті з водним потоком, тобто вона є буфером (екраном), що не допускає забруднення водоносного горизонту у випадку відмов нафтопродуктів.

Зіставлення результатів моделювання з натурним спостереженням проведено за допомогою критеріїв подібності та масштабних коефіцієнтів, одержаних з вихідних рівнянь гідродинаміки: нерозривності, масопереносу та серед-

ньої швидкості руху водного потоку. Як реальний об'єкт (прототипу) вибраний район Одеської області – дільниця проходження нафтопроводу Одеса-Броди.

При переході від моделі до природи із результатів фізичного моделювання одержані наступні характеристики динаміки розвитку нафтового забруднення підземних вод при аварійних викидах сирової нафти: середня швидкість просування ареала в плані – 40 м/рік; тривалість стабілізації ареала – 2 роки; висота капілярного підняття – 105-252 см.

У третьому розділі досліджується вплив на довкілля відмов магістральних газопроводів та основні небезпечні фактори, що виникають при цьому і які необхідно врахувати при проектуванні. В загальному, відмова магістральних газопроводів під дією техногенних, природних чи антропогенних факторів може супроводжуватися: утворенням ударної хвилі; загорянням газу і термічним впливом пожежі на довкілля; токсичним забрудненням атмосферного повітря; створенням пожежно-вибухової небезпеки у житлових та робочих приміщеннях при попаданні у них газу; розльотом кусків металу та фрагментів при руйнуванні частини трубопроводів.

Встановлено, що маючи великий запас енергії, ударна хвиля може уражати незахищених людей, руйнувати різні споруди, будівлі, обладнання, техніку.

Для інженерних прогнозів можливих зон термічного ураження людей при пожежах на газопроводах можна користуватися даними фірми “Брітш Газ”

Припускають, що полум'я є тримірним об'ємним тілом і наближається до зрізаного конусу, що спрямований меншою основою до місця витoku газу.

Довжину факела можна визначити за допомогою формули

$$\frac{L_B}{L_{B_0}} = \left( 0,49 + 0,51 e^{-0,4\omega_e} \left[ 1 - 6,07 \cdot 10^{-3} \left( \bar{\gamma} - \frac{\pi}{2} \right) \right] \right), \quad (5)$$

де  $L_B$  - довжина факела з врахуванням швидкості вітру, м;  $L_{B_0}$  - довжина факела у безвітряну погоду, м;  $\omega_e$  - швидкість вітру, м/с;  $\bar{\gamma}$  - кут нахилу трубопроводу до горизонту, град.

Розрахунок випромінювання від факела у навколишнє середовище базується на моделі Торнтон. Опромінювання певної точки у просторі розраховується як

$$q = E \varphi \vartheta, \quad (6)$$

де  $\varphi$  - кутовий коефіцієнт опромінювання;  $\vartheta$  - коефіцієнт поглинання випромінювання атмосферою;  $E$  - інтенсивність випромінювання з одиниці поверхні полум'я розраховується за формулою

$$E = \frac{Q_\phi}{F_\phi}, \quad (7)$$

де  $Q_\phi$  - загальне тепловиділення факела;  $F_\phi$  - площа поверхні випромінювання факелом.

При проектуванні газопроводів необхідно врахувати розміри забруднених

зон атмосферного повітря. Встановлено, що максимальні розміри цих зон не перевищують 250-300 м, а в районах річних заплав, боліт, "слабонесучих" ґрунтів – 600-800 м. Але слід зазначити, що у половині випадків при виитоках газу, проходить загоряння газу на місці пошкодження, при цьому масштаби загазованості атмосферного повітря зменшуються.

Для прогнозування динаміки виитоку газу при відмові запроектованого магістрального газопроводу Ананьїв-Ізмаїл, внаслідок корозійних пошкоджень, виконані розрахунки інтенсивності виитоку газу метану з технологічного апарату, що знаходиться під тиском, за допомогою системи рівнянь термодинаміки тіла зі змінною масою

$$\frac{dp}{d\tau} = \frac{k-1}{V} \left( \frac{dq}{d\tau} - iG \right); \quad \frac{dp}{dp} = - \frac{k-1}{G} \left( \frac{dq}{d\tau} - iG \right), \quad (8)$$

де  $P$  - тиск;  $G$  - масова витрата:

$$G = \mu f_0 B \frac{P}{\sqrt{T_g}}, \quad B = \sqrt{K \left( \frac{2}{K+1} \right)^{\frac{K+1}{K-1}} \frac{1}{R}}, \quad (9)$$

$i$  - ентальпія газу;  $V$  - об'єм посудини;  $K$  - показник адіабати;  $\mu$  - коефіцієнт витрати газу;  $f_0$  - загальна площа "отворів";  $T_g$  - температура газу.

Після лінеаризації ряду неліній функцій і інтегрування, а також, використовуючи рівняння стану ідеального газу одержано зміну параметрів газу у технологічному апараті та побудовано криву залежності об'ємів виитоку газу з часом від тиску.

Оскільки токсичне ураження людей на відкритих територіях малоімовірне, то в середині закритих приміщень воно проявляється. Крім цього, у даному випадку, виникає пожежно-вибухова небезпека при концентрації метану у повітрі більше 5 % за об'ємом.

Підземна міграція газу при відмові трубопроводу до закритих приміщень спостерігаються у проникних ґрунтах (пісок, супісок, гравій, галька, тріщинуваті корінні породи).

Зміна концентрації шкідливої речовини у середині приміщень пов'язано з аналогічною зміною концентрації у підземних умовах, у зоні аерації, в яких на концентрацію впливають процеси сорбції та дисперсії. Ця зміна підпорядковується рівнянню

$$\frac{dC_{en}(t)}{dt} = \frac{1}{T} C_n(t) - C_{en}(t), \quad (10)$$

де  $T$  - час повітрообміну у приміщені, год;  $C_{en}$  - концентрація газу у середині приміщення, мг/м<sup>3</sup>;  $C_n$  - концентрація газу в зоні аерації, мг/м<sup>3</sup>;  $t$  - час міграції газу, год.

При початкових умовах:  $C_{en}(t) = 0$ ;  $C_n(t) = C_0 = const$  та при  $t \rightarrow \infty$ , а

$C_{ен} \rightarrow C_n$  рівняння (10) буде мати вигляд:

$$C_n(t) = C_{ен} \left( 1 - \exp\left(\frac{-t}{T}\right) \right). \quad (11)$$

Якщо концентрація у зоні аерації нормально розподілена у часі, що характерно для миттєвих викидів газу із трубопроводів, то максимальна концентрація у закритому приміщенні

$$C_{ен\max} = \frac{Q}{\pi \alpha_x \alpha_z} \left( \frac{1}{\sqrt{2\pi T}} \right), \quad (12)$$

де  $\alpha_x, \alpha_z$  - коефіцієнти поперечної і вертикальної дисперсії;  $Q$  - маса викиду газу із трубопроводу.

Проектування і будівництво нових трубопроводів, а також експлуатація існуючих пов'язані з розв'язком низки задач, в тому числі і оцінки ризику об'єкта, в якому осколочне ураження є одним із основних негативних факторів. Актуальність оцінки цього уражаючого фактора постійно зростає внаслідок росту завантаження на газопроводи, їх старіння, впливу сторонніх осіб. При проектуванні необхідно врахувати, що для трубопроводів Ду 700 - 1200 мм (побудови 60 - 70 років) дальність розльоту металевих уламків може досягти 200 - 250 м, а для трубопроводів Ду 1420 мм (в основному із труб імпортного постачання або вітчизняних з підвищеними в'язкісними характеристиками) - у межах 150 м.

Розроблена математична модель витрати газу при відмові магістральних газопроводів, що ґрунтується на використанні диференційні рівняння нерозривності, руху та енергії газу

$$\begin{cases} \frac{\partial p}{\partial \tau} + \frac{\partial}{\partial x}(\rho g) = 0; \\ \frac{\partial}{\partial \tau}(\rho g) + \frac{\partial}{\partial x}(P + \rho g^2) = -\lambda \frac{\rho g^2}{2d_0}; \\ \frac{\partial}{\partial \tau} \left[ \rho \left( e + \frac{g^2}{2} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial x} \left[ \rho g \left( h + \frac{g^2}{2} \right) \right] = \frac{4\alpha}{d_0} (T_0 - T) \end{cases} \quad (13)$$

де  $\rho$  - густина газу;  $\tau$  - час;  $g$  - середня швидкість газу по перерізу труби;  $P$  - тиск;  $e, h$  - відповідно питома внутрішня енергія та ентальпія;  $d_0$  — внутрішній діаметр труби;  $\alpha$  - коефіцієнт теплообміну з навколишнім середовищем;  $T, T_0$  — температура стінки труби і навколишнього середовища.

При  $T = const$ ,  $\rho = const$ ;  $V = V(x)$ ,  $p = p(x, t)$ , а також після введення позначень  $-\lambda/2d_0 = \alpha = const$ ;  $4\alpha/d_0(T_0 - T) = b = const$  шляхом підстановки та інтегрування системи рівнянь (13) одержано значення швидкості витоку газу та тиску при руйнуванні трубопроводу

$$g = C_1(t); P = \frac{\alpha \rho g^2 - b \rho}{g} x + C_2(t), \quad (14)$$

де  $C_1(t), C_2(t)$  - сталі інтегрування, як функції від  $t$ .

При визначенні даних функцій необхідні початкові і граничні умови: певна кількість значень  $g$  і  $p$  при різних значеннях  $t$ . Для прогнозування масової витрати газу при руйнуванні магістрального газопроводу Ананьїв-Ізмаїл на повний переріз використані експериментальні дані американської компанії Southern CasCo. Експеримент проводився на промисловому газопроводі довжиною 100 км діаметром 1400 мм.

Одержано:

$$g = \frac{M_p}{S_p \rho} = \frac{100}{S_p \rho} \frac{1}{y}, \quad (15)$$

де  $M_p$  - масова витрата газу, кг/с;  $S_p$  - поперечний переріз, м<sup>2</sup>;  $y$  - багаточлен  $y = \alpha t^4 + bt^3 + ct^2 + dt + l$  з 5-ма невідомими коефіцієнтами, які визначені на ЕОМ за допомогою програми "Mathad". Функція  $C_2(t) = 7,6 - 2K$ , де  $K = \frac{(t-1)}{2}$ .

**У четвертому розділі** розроблені методичні основи допустимого ризику при проектуванні трубопроводів широко фракційних легких вуглеводнів (ШФЛВ).

Результати розслідування характерних аварій на продуктопроводах засвідчують, що основним уражаючим фактором для людей при цьому є термічний вплив, токсичне ураження шкіряного покриву і органів дихання.

У проектних рішеннях ймовірність цих аварій, які об'єднані з можливими негативними наслідками, носять назву ризику.

Для кількісної оцінки ризику від лінійних джерел, якими є магістральні продуктопроводи необхідно провести:

- ранжування траси за частотою виникнення крупних аварійних відмов трубопроводів, в основному зі значними витоками;
- обґрунтування сценаріїв розвитку аварій залежно від розмірів вибухонебезпечної вуглеводневої хмари і параметрів навколишнього середовища;
- аналіз інфраструктури регіону відносно розміщення типів потенційних джерел загоряння вуглеводневої хмари;
- аналіз розміщення суб'єктів ризику (населення) та територій регіону.

Кількісна оцінка ризику проводилася за формулою

$$P = \lambda d_y, \quad (16)$$

де  $\lambda$  - частота виникнення аварій (1/рік);  $d_y$  - одиниця довжини трубопроводу, км.

Дальше на вибраній дільниці для кожного сценарію розвитку аварій для всього спектру витоків, необхідно розрахувати ймовірність досягнення вибухо-

небезпечною хмарою різних точок території з врахуванням реальної метеорології регіону протягом року. Ймовірність появи небезпеки в точці на відстані  $x$  від трубопроводу можна знайти як суму ймовірностей  $R_M(x)$

$$R_M(x) = \sum_1^k R_{M_k}(x) = \sum_1^k \lambda P_k 2r_k \sqrt{1 - \left(\frac{x}{r_k}\right)^2}, \quad (17)$$

де  $r_k$  - максимальний розмір  $K$ -ої хмари (зони небезпеки), км;  $P_k$  - ймовірність реалізації певного виду метеопараметрів;  $\lambda$  - питома відносна частота виникнення аварій, 1/рік-км;  $x$  - відстань від трубопроводу, км.

Враховуючи вищенаведене на картографічній основі певного масштабу будуються прогнозні поля ризику ( $R_\Sigma(x, y)$ ), що характеризує інтегральну залежність негативної дії продуктопроводів з вірогідністю 1; остання знаходиться у конкретній точці простору у момент реалізації аварійного процесу.

Проведено аналіз ризику для 9-ти населених пунктів Башкортостану (Росія), а приклади аналізу наведені для трьох населених пунктів: селище Графське, селища Нова Мушта та Стара Мушта, де запроєктована траса продуктопроводу. Встановлено, що сумарний ризик, в якому виявилися жителі селищ, становить  $(0,42-2,6) \cdot 10^{-4}$  1/рік, а середній індивідуальний  $(0,5-6,1) \cdot 10^{-7}$  1/рік. Відмітимо, що за міжнародними стандартами прийнятим ризиком є  $10^{-6}$  1/рік і вище; за нижній рівень ризику прийнято  $10^{-11}$  1/рік, який трактується як "абсолютна безпека".

У п'ятому розділі скорегована концепція удосконалення технологічного проектування трубопровідного транспорту нафти і газу України та енергозбереження.

Основні напрямки концепції, що зменшують вплив нафтогазопроводів на довкілля, знижують величину ризику повинні бути спрямовані на:

- загальні зниження частоти реалізації відмов на перегоні або у цілому регіоні;
- зменшення граничних розмірів тріщини у тілі труби (зварювальних швах);
- зменшення впливу природних факторів на трубопроводи;
- виключення можливостей механічного впливу на трубопроводи сторонніми особами;
- обмеження загальних об'ємів витоку газу та нафтопродуктів із трубопроводу.

Важливим заходом, що зменшує негативний вплив відмов нафтогазопроводів на довкілля, є енергозбереження.

Оцінено вплив природних факторів на запроєктований магістральний газопровід Ананьїв-Ізмаїл за допомогою індексу небезпечності. Він розраховується на основі відомостей про середні значення цих факторів для районів розміщення нафтогазопроводів. Якщо неможливо одержати середніх оцінок природних факторів, що враховуються в цілому для країни, то замість них треба використовувати екстремальні значення природних факторів, що найбільше розповсюджені. Індекс небезпечності впливу природних факторів на нафтогазопроводи розрахований за формулою

$$\Phi_i = \frac{K_i}{K_i^1 + K_i}, \quad (18)$$

де  $\Phi_i$  - індекс небезпечності впливу ( $0 < \Phi_i \leq 1$ );  $K_i$  - екстремальне можливе значення  $i$ -го природного фактора для району розміщення нафтогазопроводу;  $K_i^1$  - середнє або найбільш розповсюджене екстремальне значення  $i$ -го природного фактора для країни у цілому.

Узагальнюючи вплив групи природних факторів на міцність трубопроводів, розраховані індекси небезпечності стосовно запроєктованого газопроводу Ананьїв-Ізмаїл (табл. 1).

Таблиця 1

**Індекс небезпечності впливу групи природних факторів  
на запроєктований газопровід Ананьїв - Ізмаїл**

| Назва природного фактору                                             | Екстремальне можливе значення природного фактора | Середнє значення природного фактора | Значення індексу небезпечності |
|----------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------|
| Сейсмічність                                                         | 6                                                | 4                                   | 0,60                           |
| Просідання лесових ґрунтів                                           | 4                                                | 2                                   | 0,66                           |
| Зсуви земної поверхні                                                | 1                                                | 0,5                                 | 0,67                           |
| Карстові і суфозійні процеси                                         | 2                                                | 0,5                                 | 0,80                           |
| Екстремальні вітрові навантаження (для наземних частин трубопроводу) | 8,5                                              | 5                                   | 0,63                           |

Як видно з таблиці, найбільший вплив на запроєктований магістральний газопровід будуть чинити карстові та суфозійні процеси (індекс небезпечності - 0,80); менше небезпечно буде впливати сейсмічність (індекс небезпечності - 0,60).

В роботі проаналізовані основні вимоги за контролем витоку газу, нафти і нафтопродуктів при відмові магістральних трубопроводів.

**ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ І ПІДСУМКОВІ ВИСНОВКИ**

1. У дисертації наведено теоретичне узагальнення і вирішення наукової задачі прогнозування та зменшення впливу відмов магістральних нафтогазопроводів на довкілля шляхом вдосконалення технологічного проектування. На підставі узагальнення статистичних даних з аварійності магістральних трубопроводів у межах України визначені найтипівіші відмови та причини їх виникнення; встановлено, що сумарне число відмов нафтогазопроводів, у тому числі аварійних (з впливом на довкілля), змінюються від 0.25 до 0,5 1/рік на 1000 км.

2. Вперше одержано математичну модель прогнозування масштабів забруднення довкілля при відмовах магістральних нафтопроводів за допомогою мат-

риці основних показників екологічної небезпеки.

3. Довготривалими експериментальними лабораторними дослідженнями з фільтрації сирої нафти та дизельного палива через ґрунти різного гранулометричного складу, пластичності, встановлено, що алювіальні глини і суглинки мають низькі фільтраційні властивості ( $K_{\phi} = 7,2 \cdot 10^{-6} - 1,4 \cdot 10^{-4}$  м/добу) і є екраном, який захищає підземні води від забруднення при аварійних викидах нафтопродуктів; проникність піщаних ґрунтів залежить від ступеня водонасичення та вмісту глинистих частин. Встановлено, що із збільшенням глинизації піску коефіцієнт фільтрації зменшується і при вмісті 15-16% глин наближається до нуля.

4. Для вивчення формування нафтових ареалів у зоні аерації при одночасно протікаючих процесах фільтрації, сорбції, дисперсії ефективним методом є фізичне моделювання, за допомогою якого вивчені види формування нафтового забруднення залежно від однорідності проникних ґрунтів та об'ємів витоку нафтопродуктів; встановлено, що в неоднорідних ґрунтах, коли проникність ґрунтів водонесного горизонту більша проникності перекриваючих, то просування нафтопродуктів у напрямку водонесної зони може зупинити сформована капілярна кайма.

5. Для прогнозування впливу магістрального газопроводу Ананьїв-Ізмаїл на довкілля виконані розрахунки інтенсивності витоку газу метану при корозійних пошкодженнях трубопроводу користуючись рівняннями термодинаміки тіла зі змінною масою, а для прогнозування динамічних параметрів витоку газу при відмові трубопроводу на повний переріз розроблено математичну модель на базі системи рівнянь руху, нерозривності та енергії, а також запропоновано методи її практичної реалізації.

6. Розроблено методичні основи кількісної оцінки ризику при відмові продуктопроводів (ШФЛВ), для чого:

- проведено аналіз ризику від лінійних джерел небезпеки взагалі, і конкретно для 3-х населених пунктів Башкортостану;
- розраховано імовірність запалювання вуглеводневої хмари у населених пунктах і побудовано рівні ризику на картографічній основі з врахуванням рози вітрів, стабільності атмосфери протягом року, масштабів витоків нафтопродуктів;
- розрахований сумарний ризик для жителів, які виявились у полі ризику становить  $(0,4-2,6) \cdot 10^{-4}$  1/рік, а середній індивідуальний  $-(0,5-6,1) \cdot 10^{-7}$  1/рік.

7. Скорегована концепція надійності магістрального трубопровідного транспорту нафти і газу України та енергозбереження, основні напрямки якої спрямовано на загальне зниження частоти реалізації відмов на перегоні або у цілому регіоні, на зменшення граничних розмірів тріщин у тілі труби (зварювальних швах), проведено розрахунок індексів небезпечності впливу природних факторів на запроєктований газопровід Ананьїв-Ізмаїл.

Розроблені у дисертації основні положення прогнозування екологічної небезпеки при відмовах магістральних нафтогазопроводів лягли в основу проєктів



при спорудженні продуктопроводів із районів Сургута (Росія), а також системи газопроводів Тальне-Анаїв, Ананів-Ізмаїл, Хуст-Сагу-Маре, Богродчани-Хуст; розроблені критерії прогнозування екологічної небезпеки при відмові нафтопроводів можна використати при проектуванні та експлуатації трубопроводу "Одеса-Броди".

**Основний зміст роботи викладено у наступних друкованих працях:**

1. Семчук Я.М., Говдяк Р.М. Прогнозні оцінки забруднення компонентів навколишнього середовища нафтогазопродуктами за допомогою показників екологічної безпеки//Державний міжвідомчий науково-технічний збірник "Розвідка і розробка нафтових і газових родовищ. Серія: Техногенна безпека. Випуск 37 (том 10). – Івано-Франківськ, 2000. – С. 146-151.

2. Семчук Я.М., Говдяк Р.М. Дослідження особливості формування нафтового забруднення зони аерації на фізичній моделі// Державний міжвідомчий науково-технічний збірник "Розвідка і розробка нафтових і газових родовищ. Серія: Буріння нафтових і газових свердловин. Випуск 38 (том 2). – Івано-Франківськ, 2001. – С. 176-184.

3. Семчук Я.М., Говдяк Р.М. Дослідження проникності ґрунтів зони аерації при аварійних викидах нафтогазопродуктів // Державний міжвідомчий науково-технічний збірник "Розвідка і розробка нафтових і газових родовищ. Серія: Техногенна безпека. Випуск 34 (том 10). – Івано-Франківськ, 1997. – С. 219-223.

4. Семчук Я.М., Говдяк Р.М. Математична модель витоку газу при розриві магістрального нафтогазопроводу на певний переріз // Збірник наукових праць /Матеріали науково-практичної конференції "Нафта і газ України – 2000". –Т. 3. –Івано-Франківськ. –1998.

5. Семчук Я.М., Говдяк Р.М. Основи розробки науково-методичної бази для кількісної оцінки ризику небезпеки при експлуатації нафтогазопроводів /Матеріали науково-практичної конференції факультету нафтогазопроводів. – Івано-Франківськ. –1998.

6. Семчук Я.М., Говдяк Р.М. Актуальні проблеми охорони праці у нафтогазовій галузі // Державний міжвідомчий науково-технічний збірник "Розвідка і розробка нафтових і газових родовищ. Серія: Розробка та експлуатація нафтових і газових родовищ. Випуск 35 (том 10). – Івано-Франківськ, 1998. – С. 156-159.

7. Енергозбереження на об'єктах транспорту газу України / Р.М. Макар, Б.І. Шелковський, Р.М.Говдяк і ін. // Матеріали 2-ої Міжнародної конференції по управлінню та використанню енергії. – Київ, 1997. – С. 2-5.

8. Говдяк Р.М., Дмитренко І.І., Вілінський О.І. Сучасні засоби вимірювання для комерційного обліку витрат газу на газовимірювальних станціях // Нафтова і газова промисловість. - № 3, 1998. – С. 44-45.

9. Макар Р.М., Говдяк Р.М., Шелковський Б.І. Стан, шляхи та перспективи газопростачання України // Вісник Державного університету "Львівська політехні-

хніка". – Львів, 1998.

10. Макара Р.М., Говдяк Р.М., Шелковський Б.І. Газопостачання України. Проблеми і перспективи // Збірник наукових праць: Матеріали 5-ої Міжнародної конференції "Нафта і газ України – 98". –Т. 1. – Полтава :УНГА, 1998.

11. Калапунь Г.Н., Шелковський Б.І., Говдяк Р.М. Состояние и основные пути энергосбережения в газовой промышленности Украины // Энергосберегающие технологии и автоматизация. - № 3, 2000.

12. Говдяк Р.М., Руднік А.А. Стан і напрямки розвитку трубопровідного транспорту газу в Україні // Матеріали 6-ої Міжнародної конференції "Нафта і газ України.– 2000". – Івано-Франківськ, 2000. – С. 38-41.

13. Говдяк Р.М. Трубопровідне транспортування природного газу ХХІ століття. Проблеми і перспективи розвитку // Нафтова і газова промисловість. -№ 2, 2001. – С. 29-32.

14. Говдяк Р., Калапунь І., Чабанович Л. Ефективне використання природного газу в теплоенергетичних установках з контактним тепломасообміном // Матеріали 6-ої Міжнародної конференції "Нафта і газ України – 2000". – Івано-Франківськ, 2000. – С. 9-10.

15. Говдяк Р., Калапунь І., Шелковський Б. Энергосбережение в газовой промышленности Украины // Энергосберегающие технологии и автоматизация (ЭСТА). - № 13 (15), 2001. – С. 20-27.

## АНОТАЦІЯ

**Говдяк Р.М. Удосконалення технологічного проектування нафтогазопроводів з врахуванням їх взаємодії з довкіллям. – рукопис.**

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.15.13 – нафтогазопроводи бази і сховища – Івано-Франківський державний технічний університет нафти і газу. – Івано-Франківськ, 2001.

В роботі, на підставі узагальнення статистичних даних з аварійності магістральних трубопроводів у межах України, визначені найтипівіші їх відмови та причини виникнення. Одержано математичний розв'язок за допомогою матриці основних показників екологічної небезпеки для прогнозування масштабів забруднення довкілля при відмовах нафтопроводів. Вивчено проникність ґрунтів різного гранулометричного складу при фільтрації сирої нафти і дизельного палива та формування нафтового забруднення у підземних водах і перекриваючих їх відкладах. Виконані розрахунки інтенсивності витoku газу метану при корозійних пошкодженнях трубопроводу користуючись рівняннями термодинаміки тіла зі змінною масою, а для прогнозування динамічних параметрів витoku газу при відмові трубопроводу на повний переріз розроблено математичну модель на базі системи рівнянь руху, нерозривності та енергії. Запропоновано методи їх практичної реалізації. При проектуванні продуктопроводів (ШФЛВ) розроб-

лені методичні основи кількісної оцінки ризику. Скорегована концепція удосконалення технологічного проектування трубопровідного транспорту нафти і газу та енергозбереження.

**Ключові слова:** *трубопроводи, відмови, довілля, ризик, індекс небезпеки.*

## АННОТАЦИЯ

**Говдяк Р.М. Усовершенствование технологического проектирования нефтегазопроводов с учетом их взаимодействия с окружающей средой.**

Диссертация на соискание научной степени кандидата технических наук по специальности 05.15.13 – нефтегазопроводы, базы и хранилища. Ивано-Франковский государственный технический университет нефти и газа. Ивано-Франковск, 2001.

Целью работы является прогнозирование и уменьшение влияния на окружающую среду отказов нефтегазопроводов путем усовершенствования технологического проектирования на основе определения количественной оценки риска, критериев, индексов опасности с использованием физического и математического моделирования.

В работе, в результате обобщения статистических данных по аварийности на магистральных трубопроводах в пределах Украины, определены типовые их отказы и причины возникновения; определено суммарное число выявленных отказов, в том числе аварийных, нефтегазопроводов на протяжении 15 лет. Разработана математическая модель с помощью матрицы основных показателей экологической опасности, для прогнозирования масштабов влияния отказов нефтегазопроводов на окружающую среду на стадии их проектирования.

Изучена проницаемость грунтов разного гранулометрического состава и влажности при фильтрации сырой нефти и дизельного топлива. Установлено, что аллювиальные глины и суглинки имеют низкие фильтрационные свойства ( $K_f = 7,2 \cdot 10^{-6} - 1,4 \cdot 10^{-4}$  м/сут) и являются экраном, который защищает подземные воды от загрязнения при авариях на нефтепроводах. Проницаемость песчаных грунтов зависит от степени водонасыщения и содержания глинистых частиц.

Физическим моделированием изучено формирование нефтяного загрязнения в подземных водах и перекрывающих однородных и неоднородных грунтах. Исследованием установлено, что в неоднородных грунтах, когда проницаемость водоносного горизонта выше перекрывающих грунтов, продвижение ареала нефтяного загрязнения может остановить сформированная капиллярная кайма.

Рассмотрено и изучено влияние уражающих факторов на окружающую среду, при отказах магистральных газопроводов, которые необходимо учитывать при их проектировании. Приведены расчеты интенсивности массового расхода газа метана при коррозионных нарушениях трубопровода, используя уравнения термодинамики тела с переменной массой, а для прогнозирования динамических

параметров расхода газа при отказах трубопровода на полный разрыв разработанная математическая модель на основе системы уравнений движения, неразрывности и энергии. Предложены методы ее практической реализации.

Разработаны методические основы количественной оценки риска при отказах продуктопроводов (ШФЛУ). Построены уровни риска на картографической основе с учетом розы ветров, стабильности атмосферы, масштабов массового расхода нефтепродуктов.

Скорректирована концепция надежности магистрального трубопроводного транспорта нефти и газа Украины и энергосбережения, которая направлена на общее снижение отказов трубопроводов. Проведен расчет индексов опасности влияния природных факторов на спроектированный магистральный газопровод Ананьев-Измаил.

**Ключевые слова:** *трубопроводы, отказы, окружающая среда, риск, индекс опасности.*

## THE SUMMARY

**Govdyak R.M. Enhancement of Technological Designing of Oil and Gas Pipelines in View of Their Interaction with the Environment. - Manuscript.**

The thesis for a Master's degree (engineering) in 05.15.13 specialty – oil and gas pipelines, base and storage facilities - Ivano-Frankivsk State Technical University of Oil and Gas. Ivano-Frankivsk, 2001.

On the basis of generalization of the statistical data on failures of mains within Ukraine the study establishes their most frequent failures and reasons for their beginning. The mathematical solution is obtained using a matrix of the basic index of ecological hazard to predict the scope of environmental pollution in case of failures of oil pipelines. The permeability of soils of various grain size modes under conditions of filtering of both crude oil and diesel fuel and also the pollution with oil of subterranean waters and sediments, overlapping them, is studied with the help of physical simulation. The calculation of methane escape rate is carried out under conditions of the pipe line damaged by corrosion, using the equations of thermodynamics of a body with a variable mass, and with the view of predicting dynamic parameters of gas escape under conditions of a complete pipe line failure the mathematical model is designed on the basis of a set of equations of motion, continuity and energy, and the methods of its practical realization are proposed. When designing pipe lines (Wide-Fractional Lighter Hydrocarbons) the methodological principles of a quantitative estimation of risk rate are developed. The concept of enhancing the technological design of pipeline transportation of oil and gas and power saving is corrected.

**Key words:** *pipe lines, failures, environment, risk, hazard index.*