

622.692.4

У-48

Івано-Франківський державний технічний
університет нафти і газу

Ільницький Микола Карлович

622.692.4(26)(043)

УДК 621.643(088)

1-48

У/сх

РОЗРОБКА МЕТОДІВ ПОПЕРЕДЖЕННЯ ВТОМНИХ РУЙНУВАНЬ
МОРСЬКИХ ТРУБОПРОВІДІВ

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, Міністерство освіти і науки України

Науковий керівник:

доктор технічних наук, професор **Крижанівський Євстахій Іванович**, Івано-Франківський державний технічний університет нафти і газу, ректор.

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, професор **Середюк Марія Дмитрівна**, Івано-Франківський державний технічний університет нафти і газу, завідувач кафедри транспорту та зберігання нафти і газу;

кандидат технічних наук **Зубик Йосип Левкович**, національний університет "Львівська політехніка", доцент кафедри деталей машин.

Провідна установа:

ІВП Всеукраїнський науковий і проектний інститут транспорту газу "ВНПІТРАНСПГАЗ", м. Київ

Захист відбудеться "10" 04 2001 р. о 14³⁰ год. на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 20.052.04 в Івано-Франківському державному технічному університеті нафти і газу за адресою: 76019, Україна, м. Івано-

Івано-
дресою:

Загальна характеристика роботи

Актуальність теми. Освоєння нафтових і газових ресурсів континентального шельфу України є одним з найважливіших народногосподарських завдань, вирішення якого пов'язане з будівництвом та експлуатацією спеціальних споруд, а також з розробкою сучасної прогресивної технології проведення таких робіт в умовах відкритого моря. Передбачається, що нафтова і газова промисловість України в найближчі роки розвиватиметься в районах шельфів Чорного і Азовського морів, де зосереджено понад сорок відсотків запасів нафти і газу України.

При видобуванні, збереженні і транспортуванні вуглеводневої сировини необхідне проведення всього комплексу заходів для попередження розливів нафтопродуктів, непередбачених викидів та інших аварійних ситуацій.

З усього комплексу багатогранних робіт, які проводяться на морському шельфі з метою видобутку вуглеводневої сировини, найбільш небезпечним і важкокеруваним в екологічному відношенні є розвідувально-пошукове буріння і транспортування нафти і нафтопродуктів підводними трубопроводами.

Аварії та аварійні ситуації на трубопроводах викликані тим, що в процесі експлуатації стан труб та обладнання на трубопроводах з плином часу погіршується. На них діють корозія, ерозійний знос, в стінках труб під впливом змінних напружень утворюються втомні тріщини. Аварії трубопроводів і обладнання є результатом не тільки фізичного зносу труб, але і недостатнього застосування ефективних засобів неруйнівного контролю. За офіційними даними Міністерства транспорту США число аварій на трубопроводах США за останні роки збільшилось на 24%, а їх довжина виросла тільки на 5%. Число аварій прогресує в зв'язку зі старінням трубопроводів.

Аварії і зупинки морських трубопроводів призводять не тільки до втрати газу, нафти і нафтопродуктів, але і потребують затрат на ремонтно-відновлювальні роботи. Збільшення діаметрів трубопроводів і продовження трас приводять до збільшення часу на ліквідацію аварії. Руйнування нафтопроводів і газопроводів часто супроводжуються пожежами і вибухами, забрудненням водойм, ґрунту і повітряного басейну, що згубно впливає на флору і фауну. Все це говорить про велику актуальність проблеми підвищення якості і надійності магістральних трубопроводів.

Таким чином, тема дисертаційної роботи пов'язана з запобіганням втомних руйнувань підводних трубопроводів, створенням методів і засобів контролю їх працездатності, є актуальною.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота виконувалась з 1992 по 2000 роки. Її результати увійшли в Державну програму "Освоєння вуглеводневих ресурсів Українського сектору Чорного і Азовського морів" (Київ 1995р), програму "Освоєння ресурсів газу і нафти шельфу Чорного і Азовського морів" на 2000-2005 рр. (Київ 2000).

Мета і з
надійності работ

НТБ
ІФНТУНГ



as341

а роботи полягає в забезпеченні
зодів і попередження витіканню

СЕРВІС НАФТИ І ГАЗУ

2-К/С/

нафтопродуктів шляхом розробки методів прогнозування довговічності на основі визначення навантаженості та створення технічних засобів для контролю і попередження втомних пошкоджень.

Задачі досліджень. Для досягнення мети необхідно розв'язати наступні задачі:

1. Провести аналіз характеру і величин морських хвиль та придонних течій, які діють на морські нафтогазопроводи;
2. Встановити кількісні залежності силових факторів, які діють на підводні трубопроводи;
3. Визначити критерії працездатності морських нафтогазопроводів та встановити вид і характер можливих їх руйнувань;
4. Створити методика експериментальних досліджень морських нафтогазопроводів виходячи з основного критерію їх працездатності;
5. Провести втомні дослідження тіла труби і зварного з'єднання морських нафтогазопроводів;
6. Розробити принципову схему підводного трубопроводу для забезпечення невилиття транспортованої речовини в морське середовище;
7. Розробити методика прогнозування довговічності морського трубопроводу;
8. Розробити пристрій для попередження механічних руйнувань морських нафтогазопроводів.

Наукова новизна одержаних результатів. На основі теоретичних і експериментальних досліджень одержали подальший розвиток методи визначення нестационарних навантажень на підводний трубопровід викликаних дією морських хвиль та оцінки втомних і корозійно-втомних характеристик матеріалу підводних трубопроводів. Встановлено характер розподілу внутрішніх силових факторів в поперечних перерізах трубопроводу в залежності від частоти морських хвиль. Одержав розвиток науковий метод оцінки опору втомі підводних трубопроводів на основі досліджень кінетики поширення тріщин і оцінки параметрів кривих втоми.

Практичне значення одержаних результатів. Результати досліджень використані при розробці проектів: "Проект обустройства нефтяного месторождения Д-6 на шельфе Балтийского моря", "Проект опытно-промышленной эксплуатации месторождения «Белый тигр» на шельфе Южно-Китайского моря», «Нефтепровод Белый тигр – Туйха (СРВ)», "Технико-экономическое обоснование целесообразности строительства газоперерабатывающего комплекса в Черноморском р-не Крыма на базе сырья газоконденсатных месторождений шельфа Черного моря», «Газопровод Штормовое ГКМ – бухта Очертай», «Газопровод блок-кондуктор 22 МСП-4 Голицынского ГКМ», «Газопровод блок-кондуктор 23 МСП-17 Штормового ГКМ», «Газопровод МСП-5-берег». Розроблена система запобігання розливу нафтопродуктів (а.с. 1508019).

Вірогідність одержаних результатів. Забезпечується коректною постановкою задач, застосуванням сучасних класичних методів теоретичних і

експериментальних досліджень, які базуються на теорії коливань, статистичній теорії втомного руйнування, стандартних методик і установок для дослідження поширення тріщин і втомного руйнування.

Особистий внесок здобувача. Основні положення та результати дисертаційної роботи отримані автором самостійно.

Здійснено аналіз причин і результатів екологічних і економічних втрат при пошкодженні підводних трубопроводів, запропоновано схему захисту [9, 12].

Запропонована ідея оцінки параметрів трубопроводів за результатами досліджень на втому моделей –“вирізок” [10, 11].

Запропонована концепція облаштування нафтогазових родовищ Азово-Чорноморського шельфу, методи видобутку і транспортування нафти і газу через односточкові причали та танкери на нафтопричал “Южный” та інші НПЗ. Виконані розрахунки необхідної кількості морських стаціонарних платформ, блок-кондукторів, вибір і розрахунок діаметрів підводних трубопроводів [1-8].

Апробація результатів дисертації. Основні положення роботи доповідались на: науково-практичній конференції «В’єтсепро», Вунгтау, 1988 р.; науково-практичній конференції «Нордс-Гідро», Осло, 1990 р.; міжнародній конференції в штабквартирі компанії «Сопнок», Х’юстон 1991 р.; науковій конференції Держнафтогазпрому і Української нафтогазової академії, Львів, 1996р.; 2-ій міжнародній конференції, Гурзуф, 2000 р., 4-ій спеціалізованій виставці “НАФТА та ГАЗ”, Київ, 2000р., 6-ій Міжнародній науково-практичній конференції “Нафта і газ України 2000”, Івано-Франківськ, 2000 р.

Публікації. По темі дисертації опубліковано 12 друкованих праць, з них 3 статті, 1 авторське свідчення, 4 монографії, 4 підручники.

Структура і обсяг роботи. Дисертація складається із вступу, чотирьох розділів, висновків. Робота викладена на 159 сторінках, містить 49 рисунків, таблиць 7, список використаних джерел з 123 найменувань, додатки.

Основний зміст роботи.

У вступі обґрунтовано обраний напрямок, сформульовано мету та задачі досліджень. Дається коротка характеристика основних положень дисертації, наукова новизна і практичне значення роботи.

В першому розділі проведено аналіз умов роботи підводних нафтопроводів з позицій забезпечення їх надійності і довговічності. Показано, що збільшення видобутку і транспортування нафти і газу на шельфах Чорного і Азовського морів потребує збільшення вимог до запобігання виливу нафтопродуктів в морське середовище. Аварії і зупинки морських трубопроводів призводять не тільки до втрати газу і нафтопродуктів, забруднення навколишнього середовища, але й потребують затрат на ремонтно-відновлювані роботи. Систематизації даних по аваріях в публікаціях немає, тому неможливо об’єктивно оцінити надійність роботи трубопроводів різних країн з найбільш розвинутим трубопровідним транспортом.

Статистичні матеріали по аваріях трубопроводів мають дуже умовну розбивку по принципах їх виникнення. По аваріях на трубопроводах, які

відпрацювали 20-30 років, вказують “будівельні причини”. Звичайно, для напрацювання дійових мір по забезпеченню надійності необхідна класифікація відомо по їх фізичній природі, але такої статистики немає. За даними Американського управління по безпеці на трубопроводах до 30% аварій відбувається з причини механічних руйнувань.

Істотний внесок у розробку методів проектування і розрахунку трубопроводів, дослідження надійності і її підвищення вклали відомі вчені Б.С.Патон, А.Я.Недосєка, Є.Л. Аксельрад, А.С. Аїстов, Г.В. Грудницький, Є.М. Гутман, К.А. Забела, Р.С. Зайнуллін, О.М. Іванцов, С.І. Левін, П.Л. Терещенко, О.Б. Шадрін, Є.М. Ясін та інші.

В більшості досліджень основна увага направлена на вивчення напруженого стану трубопроводу, викликаного дією зовнішнього або внутрішнього тиску, деформаціями ґрунту. Це пояснюється тим, що дослідження виконувались для наземних або підземних трубопроводів. Робіт по дослідженню підводних морських трубопроводів мало.

Підводні трубопроводи піддаються дії морських течій і хвиль у будівельний період і в період експлуатації на ділянках, де вони прокладені на дні моря без заглиблення в ґрунт, при оголенні ділянки внаслідок промивання ґрунту і т.і. В роботі проведено аналіз дії морських хвиль на підводний трубопровід. На основі теорії хвиль Ерї і Стокса показано, що коливання морської поверхні передаються на глибину до 30м і спричиняють коливання ділянок трубопроводу. Таким чином, підводні трубопроводи необхідно розраховувати не тільки на максимальні навантаження, але також на змінні навантаження, так як вони стають визначальними при тривалій експлуатації. Змінні навантаження викликають в матеріалі трубопроводу змінні напруження і, як наслідок, має місце небезпека втомного руйнування. Для запобігання цьому явищу розглядається можливість використання давачів (індикаторів) втомних пошкоджень.

Проведено аналіз різних по конструкції і принципу дії індикаторів, показано їхні позитивні якості і недоліки.

На підставі виконаного аналізу стану проблеми сформульовані мета дисертаційної роботи і задачі, які необхідно розв’язати для досягнення поставленої мети.

У *другому розділі* досліджуються нестационарні навантаження підводних трубопроводів викликаних дією хвиль. Розглядається ділянка трубопроводу, яка вільно провисає над западиною морського дна, а також така, яка лежить на морському дні. На трубопровід діє розподілене змінне навантаження. Диференціальне рівняння пружної лінії ділянки трубопроводу:

$$EI \frac{d^4 y}{dx^4} = P(x), \quad (1)$$

де $P(x)$ – навантаження, яке діє на трубопровід.

Для випадку, коли трубопровід розташований на дні моря, враховується пружність K ґрунту:

$$EI \frac{d^4 y}{dx^4} + Ky = q(x), \quad (2)$$

де $q(x)$ – розподілене навантаження.

Одержано загальний розв'язок, який показує, що зміна параметрів хвиль і течій приводить до зміни згинаючого моменту і прогину в поперечних перерізах трубопроводу і, як наслідок, до виникнення втомних процесів в матеріалі труб.

Для ділянки, яка провисає над западиною і навантажена тільки силою власної ваги, розглядаються два варіанти закріплення на границях: защемлення; проміжна шарнірна опора з наступним защемленням. Показано, що в другому варіанті шляхом підбору різних співвідношень $K_1 = l_1/l$ між довжиною l ділянки, яка провисає, і віддалі l_1 від шарніру до защемлення, можна досягнути мінімальних значень реакцій в опорах, а при $K_1 = 0,535$ згинаючий момент в защемленні відсутній.

З метою дослідження нестационарних процесів, які виникають в провисаючій ділянці трубопроводу під дією хвильового руху морської води, записано диференціальне рівняння поперечних переміщень:

$$EI \frac{d^4 y}{dx^4} + m \frac{d^2 y}{dx^2} + \mu(x,t) = -f(x,t), \quad (3)$$

де m – маса одиниці довжини труби з продуктом,

$\mu(x,t)$ – інтенсивність сили опору зовнішнього середовища,

$f(x,t)$ – інтенсивність зовнішнього навантаження.

Якщо в рівнянні (3) відкинути праву частину, то одержимо рівняння власних коливань ділянки трубопроводу. Розв'язок такого рівняння для головних форм коливань має вигляд:

$$y = y(0)A + \frac{y'(0)}{\lambda_n} B - \frac{M(0)}{\lambda_n^2 EI} C - \frac{Q(0)}{\lambda_n^3 EI} D, \quad (4)$$

тут:

$y(0)$, $y'(0)$, $M(0)$, $Q(0)$ – прогин, кут повороту поперечного перерізу, момент і поперечна сила в поперечному перерізі при $x=0$;

A, B, C, D – функції Кривола,

$$\lambda_n = \sqrt[4]{\frac{m\omega_n^2}{EI}}, \quad (5)$$

де ω_n – власна частота коливань ділянки трубопроводу.

З рівняння (4) знаходимо кут повороту, момент і поперечну силу в будь-якому перерізі:

$$y' = \lambda_n y(0)D + y'(0)A - \frac{M(0)}{\lambda_n EI} B - \frac{Q(0)}{\lambda_n^2 EI} C \quad (6)$$

$$M = -\lambda_n^2 y(0)EIC - \lambda_n y'(0)EID + M(0)A - \frac{Q(0)}{\lambda_n} B \quad (7)$$

$$Q = -\lambda_n^3 EI y(0)B - \lambda_n^2 EI y'(0)C + \lambda_n M(0)D + Q(0)A \quad (8)$$

Дію хвиль на трубопровід описуємо гармонійною функцією:

$$f(x, t) = q(x) \sin \omega_x t,$$

де ω - частота хвиль.

Підставляємо в (3) і нехтуючи силою опору зовнішнього середовища, одержимо:

$$\frac{d^4 y}{dx^4} + \frac{m}{EI} \frac{d^2 y}{dt^2} = -\frac{q(x)}{EI} \sin \omega_x t \quad (9)$$

Розв'язок цього рівняння дає можливість визначити переміщення і внутрішні силові фактори в перерізах трубопроводу:

$$y = y(0)A + \frac{y'(0)}{\lambda} B - \frac{M(0)}{\lambda^2 EI} C - \frac{Q(0)}{\lambda^3 EI} D - \frac{q}{\lambda^4 EI} (A-1) \quad (10)$$

$$y' = \lambda y(0)D + y'(0)A - \frac{M(0)}{\lambda EI} B - \frac{Q(0)}{\lambda^2 EI} C - \frac{q}{\lambda^3 EI} D \quad (11)$$

$$M = EI \left[-\lambda^2 y(0)C - \lambda y'(0)D + \frac{M(0)}{EI} A + \frac{Q(0)}{\lambda EI} B + \frac{q}{\lambda^2 EI} C \right] \quad (12)$$

$$Q = EI \left[-\lambda^3 y(0)B - \lambda^2 y'(0)C + \frac{\lambda M(0)}{EI} D + \frac{Q(0)}{EI} A + \frac{q}{\lambda} B \right], \quad (13)$$

$$\text{тут } \lambda = \sqrt[4]{\frac{m\omega_x^2}{EI}} \quad (14)$$

Попередній аналіз показав, що найбільші навантаження в поперечних перерізах ділянки трубопроводу виникають при защемленні її кінців. Розрахункові формули для згинаючого моменту і поперечної сили спрощуються:

$$M = M(0)A + \frac{Q(0)}{\lambda} B + \frac{q}{\lambda^2} C, \quad (15)$$

$$Q = \lambda M(0)D + Q(0)A + \frac{q}{\lambda} B, \quad (16)$$

$$\text{де } M(0) = \frac{q[(A-1)C - D^2]}{\lambda^2(C^2 - BD)}, \quad (17)$$

$$Q(0) = \frac{q[CD - (A-1)B]}{\lambda(C^2 - BD)} \quad (18)$$

За результатами розрахунків по формулах (15) і (18) встановлено, що максимальні значення моменту і поперечної сили мають місце в перерізах,

розташованих безпосередньо біля защемлення. На рис. 1 показані результати розрахунків згинаючого моменту M і поперечної сили Q в залежності від зміни частоти хвиль ω_x для ділянки трубопроводу довжиною $l=60\text{м}$ діаметром 325 мм і товщиною стінки 16мм при різних значеннях розподіленого навантаження q . Як видно з рисунку, значення моменту і поперечної сили суттєво змінюється при зміні частоти ω_x хвиль. Критичні значення частот ω_x визначаються з рівнянь (17), (18) при умові, що

$$C^2 - BD = 0 \quad (19)$$

Розв'язок цього рівняння з врахуванням значення λ з рівняння (14) дає можливість визначити умову обмеження довжини ділянки провисання підводного трубопроводу:

$$l < 4,734 \sqrt{\frac{EI}{m\omega_x^2}} \quad (20)$$

Досліджено залежність частоти ω_x хвиль від довжини l_x . Встановлено, що довжина хвиль $l_x < 50\text{м}$ їх частота ω_x значно змінюється в залежності від зміни довжини l_x , а при $l_x > 50\text{м}$ ця залежність зменшується і частота міняється дуже мало. Це дає можливість, користуючись статистичними даними параметрів хвиль, прогнозувати допустиму довжину ділянки трубопроводу l за умовою (20).

У *третьому розділі* приведена методика оцінки довговічності підводних трубопроводів.

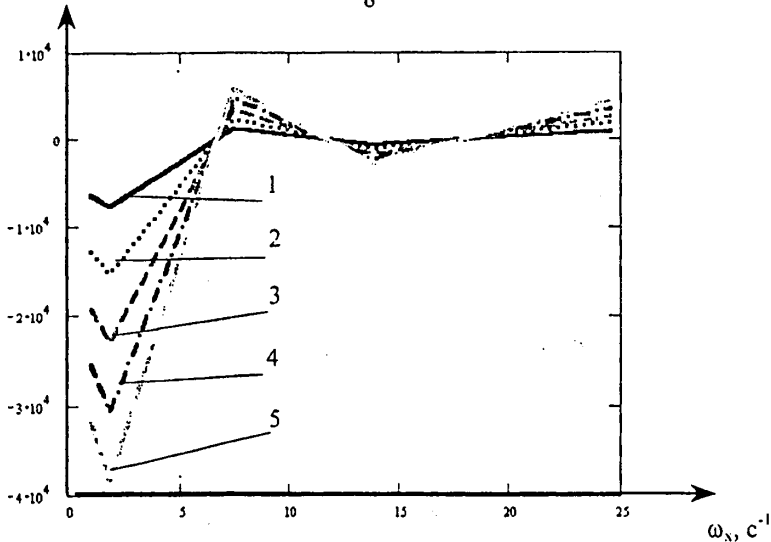
Отримання параметрів рівнянь втомі натурних об'єктів, особливо з розмірами поперечних січень біля $300\text{-}500\text{ мм}$, є дуже складним і дорогим. Тому значна кількість досліджень направлена на оцінку параметрів кривих втомі натурних об'єктів за результатами випробовувань зразків або моделей. Проаналізувавши результати досліджень Серенсена С.В., Когаєва В.П., Олійника М.В., Морозова Б.О., Почтенного Є.К., Парфенович К.І. та інших для оцінки параметрів втомі підводних трубопроводів використані моделі-“вирізки” в зоні зварного шва. Для цього із зварених в промислових умовах двох кілець з труби підводного трубопроводу вирізали полоси шириною 75 мм , з якої на фрезерному верстаті формували робочу частину зразка моделі-“вирізки”.

Експериментальні дослідження моделей зварних з'єднань підводних трубопроводів на опір втомі проводились на універсальній втомній машині УП-100.

По результатах випробовувань отримані значення параметрів кривих втомі. Оскільки ці характеристики опору втомі отримані при симетричному циклі навантаження, то їх було перераховано для віднульового циклу. Це дало можливість провести порівняння з довговічністю натурних труб, які були випробувані при повторному навантаженні внутрішнім тиском А.С.Аістовим.

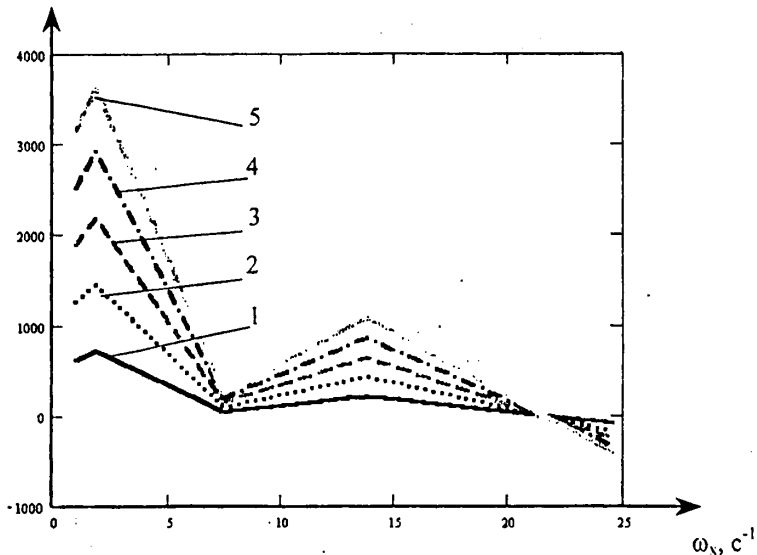
Довговічність натурних труб, яка отримана експериментально і розрахована за результатами випробовування моделей-“вирізок” з врахуванням існуючого розсіювання довговічності досить близькі. Таким чином, можна зробити висновок про можливість використання запропонованого методу оцінки довговічності трубопроводів за результатами випробовування їх моделей-“вирізок”.

M, Н·м



a)

Q, Н



б)

Рис.1 - Залежність моменту (а) і поперечної сили (б) від частоти хвиль при різних значеннях розподіленого навантаження q , для ділянки довжиною $l = 60\text{ м}$: 1- $q = 20 \text{ H/m}$; 2- $q = 40 \text{ H/m}$; 3- $q = 60 \text{ H/m}$; 4- $q = 80 \text{ H/m}$; 5- $q = 100 \text{ H/m}$

Для вивчення міцності металу труби і шва зварних з'єднань підводних трубопроводів були проведені дослідження на тріщиностійкість. Досліди проводили на повітрі і в корозійному середовищі при кімнатній температурі на зразках з боковою тріщиною на установці УРТ-1. Швидкість розвитку втомної тріщини до половини товщини зразка при однакових амплітудах навантаження не однакова. Так, для зразків, вирізаних в зоні зварного шва, кількість циклів для підростання тріщини на 0,3 мм в 1,2 рази більша ніж для зразків, вирізаних із основного матеріалу труби. Крім того, в діапазоні швидкостей росту втомної тріщини $10^{-9} - 10^{-7}$ м/цикл, циклічна тріщиностійкість сталі 20 на повітрі вища в 1,4 рази ніж в середовищі 3% NaCl.

У четвертому розділі описуються методи забезпечення надійності транспортування нафтопродуктів підводними трубопроводами.

З метою забезпечення техногенної безпеки акваторій Чорного і Азовського морів при транспортуванні нафти запропонований підводний трубопровід (рис.2). Він призначений для перекачування нафти від стаціонарної морської платформи в ємності берегового терміналу. Основною перевагою запропонованого трубопроводу є попередження розливів нафти у водне середовище при його пошкодженні або розриві. При пошкодженні підводного трубопроводу і зменшенні в результаті цього тиску перекачування спрацьовує система автоматичного керування, за командою якої зупиняються насоси, відкриваються засувки до сифонних ємностей і нафта, яка знаходиться в трубопроводі, під тиском зовнішнього середовища перетікає в ці ємності. Одержані розрахункові формули для визначення часу, на протязі якого здійснюється витікання нафти з пошкодженого трубопроводу, і об'єму вилитої нафти.

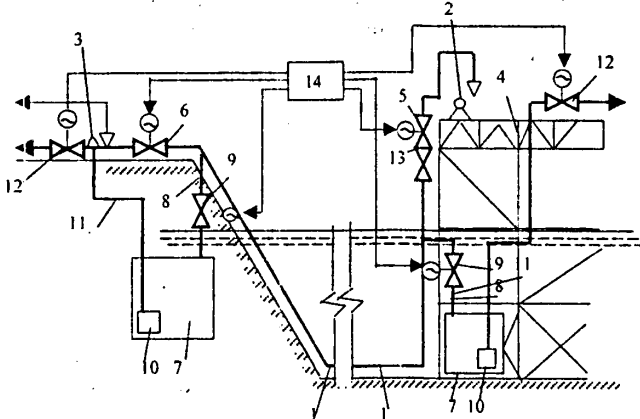


Рис.2 – Підводний трубопровід з системою автоматичного керування і контролю
1–магістральний трубопровід; 2, 3–насоси; 4–морська платформа; 5, 6–кінцеві лінійні засувки; 7–сифонні ємності; 8–відвідні трубопроводи; 9–засувки; 10–занурені насоси; 11–трубопроводи; 12–засувки; 13–зворотний клапан; 14–автоматична система управління

Одним з перспективних напрямків забезпечення надійності трубопроводів є використання індикаторів втоми. Тому використаний такий підхід для підбору індикаторів, при якому останній виготовляється з того ж самого матеріалу, що і трубопровід та кріпиться до нього на небезпечній ділянці. При цьому в індикаторі методом нарощування тріщини створюється початкове пошкодження, щоб виконувалась умова рівності границі втоми індикатора і трубопроводу при заданій ймовірності неруйнування. Розроблений пристрій з індикаторами втоми для забезпечення надійності підводних трубопроводів. Визначення параметрів втоми індикаторів і вирощення початкової тріщини виконувалось на установці УРТ-1.

В результаті розрахунків визначено необхідне число відпрацьованих циклів для зниження границі втоми індикаторів від 83,7 до 40 МПа, яке відповідало 21300 циклам. При цьому довжина вирощеної тріщини повинна мати розмір, рівний 2,32 мм.

Для перевірки розрахунків були виготовлені дві моделі, до яких потім приварювались індикатори з вирощеними тріщинами. Результати випробовувань показали, що руйнуванням індикаторів відповідає крива втоми підводних трубопроводів з ймовірністю неруйнування $R=0,99$. Таким чином, шляхом використання індикаторів втоми можна забезпечити експлуатацію підводних трубопроводів з необхідною ймовірністю неруйнування.

Для розробки розрахунково-експериментальної методики прогнозування довговічності підводних трубопроводів були проведені втомні випробовування зразків при ступінчастому навантаженні для визначення коефіцієнта сумування пошкоджень. Методика передбачає визначення навантаженості трубопроводу в залежності від довжини ділянки, яка провисає над западиною морського дна, частоти хвиль і наступному формуванні блоку навантажень та сумуванні пошкоджень від їх дії.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. На основі теорії хвиль Ері і Стокса встановлено, що дія морських хвиль передається на глибину до 30 м і спричиняє коливання ділянок трубопроводу. Це збуджує в них змінні напруження і може стати причиною втомного руйнування трубопроводу.

2. Встановлено, що при статичному навантаженні ділянки трубопроводу, яка провисає над западиною морського дна, можна шляхом відповідного вибору віддалі l_1 між шарнірною опорою і защемленням на кожному кінці ділянки, досягнути мінімальних значень реакцій в опорах. Оптимальним можна вважати відношення віддалі l_1 до довжини l ділянки трубопроводу рівним $k=l_1/l=0,535$.

3. Встановлено, що значення згинаючого моменту і поперечної сили в перерізі трубопроводу суттєво залежать від частоти руху морських хвиль. При певних значеннях частоти хвиль може мати місце резонанс, що веде до

інтенсивного зростання моменту і поперечної сили. Визначені умови відсутності резонансу. Знайдено залежність частоти морських хвиль від їх довжини і глибини моря. Встановлено, що при зміні довжини хвиль від 5 до 50 м частота змінюється в межах від 12с^{-1} до 1с^{-1} , а після 50 м частота має значення менше 1с^{-1} .

4. Обґрунтовано вибір зразків для оцінки довговічності підводних трубопроводів і проведені випробовування для визначення небезпечних зон і оцінки параметрів кривих втоми.

5. Проведені дослідження кінетики поширення тріщин у зразках основного матеріалу і зони зварного шва. Встановлені параметри кривої втоми моделей-“вирізків” підводних трубопроводів, які можуть бути використані для розрахунку їх довговічності.

6. Створена принципово нова схема підводного трубопроводу з системою автоматичного керування, яка запобігає витіканню нафти в морське середовище при його пошкодженні.

7. Розроблено методику прогнозування довговічності підводних трубопроводів з врахуванням нерегулярності їх навантаження, яка полягає в формуванні блоку значень напружень та врахуванні коефіцієнту сумування пошкоджень.

8. Розроблена конструкція пристрою попередження руйнування трубопроводів, який містить індикатори втоми. Запропонований метод вибору довжини початкової тріщини в індикаторі, що дало можливість експериментально-розрахунковим методом досягти рівності значення границі втоми труби і границі втоми індикатора.

Основний зміст роботи опубліковано в наступних працях:

1. Довжок Є.М., Шпак П.Ф., Ільницький М.К. Нафтогазоносний потенціал акваторії Азовського моря. – К.: УНГІ, 1995.-166с.
2. Довжок Є.М., Шпак П.Ф., Ільницький М.К. Нафтогазоносний потенціал північно-західного шельфу Чорного моря. – К.: УНГІ, 1995 -250с.
3. Довжок Є.М., Шпак П.Ф., Ільницький М.К. Нафтогазоносний потенціал Керченсько-Томанського шельфу Чорного моря. – К.: УНГІ, 1996 - 175с.
4. Довжок Є.М., Шпак П.Ф., Ільницький М.К. Програма освоєння вуглеводневих ресурсів Українського сектору Чорного і Азовського морів. – К.: 1996. - 235с.
5. Ільницький М.К., Шадрін О.Б. Проектування, будівництво і експлуатація морських трубопроводів. – К.: Українська книга, 1997.- 174с.
6. Крижанівський Є.І., Ільницький М.К., Яремійчук Р.С. Морські стаціонарні платформи. – К.: Українська книга, 1996. – 200с.

7. Возний В.Р., Ільницький М.К., Любимцев В.О. Проектування, будівництво та експлуатація морських нафтогазових споруд. – К.: Українська книга, 1999. – 231с.

8. Возний В.Р., Ільницький М.К., Яремійчук Р.С. Морські нафтогазові споруди. – Львів: Світ. 1997. – 343с.

9. Ільницький М.К. Проблеми захисту від забруднення акваторій Чорного і Азовського морів при розробці нафтогазових родовищ. // Розвідка і розробка нафтових і газових родовищ. Серія: Розробка і експлуатація нафтових і газових родовищ. Вип. 34, 1997. - С. 207-213.

10. Крижанівський Є.І., Ільницький М.К., Шкіца Л.Є. Передумови втомного руйнування морських нафтогазових трубопроводів. // Розвідка і розробка нафтових і газових родовищ. Серія: Нафтогазопромислове обладнання. Вип. 35, 1998. – С. 3-9.

11. Крижанівський Є.І., Івасів В.М., Чернов Б.О., Ільницький М.К. Вибір і дослідження моделей підводних трубопроводів. // Розвідка і розробка нафтових і газових родовищ. Серія: Нафтогазопромислове обладнання. Вип.36-Том4.-Івано-Франківськ.- 1999. - С.109-114.

12. Подводный нефтепровод: А.с. 1508019 СССР, F16L 1/04 /Н.К.Ильницький, К.А.Кашунин, В.В. Мартэн, П.П. Бородавкин и Э.Х.Векилов - № 1190129; Заявлено 23.07.86; Опубл. 15.09.89. Бюл. №34. – 2 с.

Анотація

Ільницький М.К. Попередження механічних руйнувань підводних трубопроводів.

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

Дисертаційна робота присвячена забезпеченню надійності роботи підводних трубопроводів шляхом розробки методів прогнозування їх довговічності. В роботі вирішуються задачі визначення нестационарних навантажень, які сприймає трубопровід під дією морських хвиль та створення технічних засобів для контролю циклів змінних навантажень. Досліджуються коливальні процеси ділянки трубопроводу, який провисає над западиною морського дна і внутрішні навантаження в його поперечних перерізах. Визначені умови відсутності резонансних коливань. Обґрунтовано вибір локальних моделей для оцінки характеристик втоми підводних трубопроводів під дією змінних навантажень. Розроблена методика і проведено експериментальні дослідження взірців трубопроводу на втому. Розроблена схема запобігання впливу нафти з трубопроводу при його пошкодженні. Запропоновано конструкцію пристрою попередження руйнувань трубопроводів з індикаторами втоми.

Ключові слова: навантаження, трубопроводи, індикатори втоми, локальні моделі, довговічність.

Аннотация

Ильницкий М.К. Предупреждение механических повреждений подводных трубопроводов.

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

Целью диссертационной работы является обеспечение надежности работы подводных трубопроводов путем разработки методов прогнозирования долговечности на основании определения переменных нагрузок, вызванных действием морских волн, и создания технических средств для контроля количества циклов переменных напряжений.

В работе исследуется действие морских волн на подводный морской трубопровод. На основании анализа теории волн, разработанных Стоксом и Эри показано, что волнение поверхности моря передается на глубину более 20м и воздействует на подводный трубопровод. Выполнен предварительный анализ статической нагруженности трубопровода под действием сил веса. Рассмотрены две схемы закрепления концов участка трубопровода, провисающего над расщелиной морского дна, - защемление и шарнирное опирание с последующим защемлением. Показано, что в первой схеме имеют место более высокие нагрузки, особенно вблизи защемления. Вторая схема позволяет варьировать нагрузкой на шарнирную опору и защемление путем изменения расстояния между ними. Определено оптимальное расстояние, обеспечивающее минимальную нагрузку на опоры.

Проведены исследования колебаний участка трубопровода под действием морских волн. Действие волн представлено в виде распределенной нагрузки, меняющейся по гармоническому закону. Записаны дифференциальные уравнения поперечных перемещений оси участка трубопровода. Решение уравнения, выполненное для главных форм колебаний, позволило определить перемещения и углы поворотов сечений, а также изгибающие моменты и поперечные силы в сечениях. Определены условия отсутствия резонанса, ограничивающие длину участка трубопровода, защемленного на концах. Выведено уравнение для определения частоты их волн, учитывающее длину волн l_x и глубину h акватории моря; установлено, что частота волн значительно зависит от длины волн и меньше от глубины моря. Так, при $h > 10м$, зависимость частоты от глубины незначительна. При длине волн до 50м частота существенно зависит от изменения длины, а при $l_x > 50м$ эта зависимость уже значительно меньше и частота принимает значения $10, \chi < 1с^{-1}$. Полученные результаты дают возможность, используя статистические данные параметров волн на определенной акватории моря, прогнозировать допустимую длину провисающего участка трубопровода по условию отсутствия резонансных колебаний.

Подобрано экспериментальное оборудование и измерительные приборы, обоснованы методы обработки результатов исследований. Разработана методика оценки параметров кривых усталости подводных трубопроводов на основании испытаний моделей-«вырезов». Проведены исследования роста усталостных и коррозионно-усталостных трещин в теле трубы и зоне сварного шва и влияние на скорость их распространения в коррозионной среде. За полученными значениями скорости роста усталостной трещины и соответствующими ей значениями коэффициентов интенсивности напряжений построены диаграммы циклической трещиностойкости материала трубы и сварного шва на воздухе и в коррозионной среде, которые позволяют определять характеристики трещиностойкости материала трубы и сварного шва. Установлены параметры кривой усталости моделей-«вырезов» которые могут быть использованы для расчета долговечности подводных трубопроводов.

Разработана схема трубопровода с автоматической системой управления для предупреждения вылива нефтепродуктов при его повреждении, которая позволяет избежать загрязнения окружающей среды. Получены расчетные формулы для определения времени вытекания нефтепродукта и его объёма.

Предложен расчётно-экспериментальный метод предупреждения разрушений подводного трубопровода с помощью устройства, содержащего индикаторы усталости. В основу этого метода положен подбор индикатора усталости в котором выращивается трещина с соблюдением условия равенства квантильного значения предела усталости материала газопровода пределу усталости индикатора, что обеспечивает заданную вероятность неразрушения. Разработано приспособление с индикаторами усталости которое позволяет учитывать влияние коррозионной среды (морской воды).

Для прогнозирования усталостной долговечности при нестационарных нагрузках предложен принцип суммирования усталостных повреждений, который основывается на экспериментальном определении значении коэффициента суммирования и формирования блока нагружения..

Ключевые слова: нагрузки, трубопроводы, индикаторы усталости, локальные модели, долговечность.

Abstract

Ilnytsky M.K. Prevention of Fatigue Destruction of Underwater Pipelines
Thesis for a degree – Candidate of Technical Science on speciality 05.15.13 – Oil and Gas Pipelines, Oil Reservoir and Gas Storages.

Ivano-Frankivsk State Technical University Oil and Gas
Ivano-Frankivsk, 2001

The subject of thesis is prevention of the functioning reliability of underwater pipelines by means of developing the methods to forecast their durability. The thesis solves the tasks of determining the changing load caused by sea wave's motions. The thesis also considers the creation of technical devices for controlling of changing load

cycles. There have been analyzed the motion processes of the pipeline sections. The conditions of absence of resonance vibrations have been determined. It has been grounded the choice of local models for evaluation of underwater pipeline fatigue caused by changing load. The samples on pipeline fatigue have been experimentally investigated and relevant methods have been developed. A scheme has been worked out for preventing oil leakage from the pipeline if it is damaged.

There have been suggested the device with fatigue indicator for preventing pipeline distraction.

Key words: dynamic characteristic, pipelines, indicator, distraction.