



УКРАЇНА

(19) UA (11) 18066 (13) U
(51) МПК (2006)
G01N 3/00
G01M 3/00

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ

ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

видається під
відповідальність
власника
патенту

(54) ПРОЦЕС ВИЗНАЧЕННЯ ЗАЛИШКОВОГО РЕСУРСУ НАФТОГАЗОПРОВОДІВ ТА ЗБІЛЬШЕННЯ НОРМАТИВНОГО ТЕРМІНУ ЇХ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

1

2

(21) u200605396

(22) 17.05.2006

(24) 16.10.2006

(46) 16.10.2006, Бюл. №10, 2006р.

(72) Івасів Василь Михайлович, Говдяк Роман Михайлович, Івченко Олексій Григорович, Лопушанський Андрій Ярославович, Кравець Олег Адольфович, Дрогомирецький Михайло Миколайович, Василюк Володимир Михайлович, Ільницький Ростислав Миколайович, Артим Володимир Іванович

(73) ІВАНО-ФРАНКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ НАФТИ І ГАЗУ

(57) 1. Процес визначення залишкового ресурсу нафтогазопроводів (НГП) та збільшення нормативного терміну їх експлуатації, що включає операції дослідження НГП та виявлення домінуючих видів пошкоджень, які суттєво впливають на ресурс експлуатації окремих ділянок, систем НГП, дослідження впливу зовнішніх факторів, які найбільшою мірою впливають на можливість виникнення і розвитку пошкоджень, під час дослідження НГП вимірюють параметри, що характеризують технічний стан НГП, на основі вимірювань визначають інтегральні характеристики технічного стану НГП і часові тенденції зміни їх геометричних розмірів, визначають ділянки, вузли, системи НГП, на які припадає домінуюча частка інтегральної характеристики технічного стану НГП, оцінюють ступінь небезпеки кожного дефекту, розробляють план компенсаційно-реабілітаційних заходів, який **відрізняється** тим, що операції дослідження НГП та виявлення домінуючих видів пошкоджень, які суттєво впливають на ресурс його експлуатації, та дослідження зовнішніх факторів, які впливають на

можливість виникнення і розвитку пошкоджень, здійснюють безпосередньо із застосуванням моделей -"вирізок" НГП, вирізаних з ряду видалених, наприклад, під час ремонту за результатами попереднього діагностичного обстеження, дефектних ділянок НГП, з групуванням на типові вибірки за ступенем локального механічного, корозійного та втомного пошкодження, за результатами досліджень отримують параметри рівнянь кривих втоми НГП, на підставі яких будують натурні кінетичні криві втоми з різною ймовірністю неруйнування, за їх аналізом із застосуванням засобів комп'ютерного моделювання визначають емпіричні залежності параметрів кінетичних кривих втоми моделей - "вирізок" від ступеня втомного пошкодження ділянки НГП та геометричних параметрів локального дефекту, оцінюють ступінь небезпеки кожного конкретного дефекту та виділяють найбільш небезпечні, після цього за певними алгоритмами визначають гамма-процентний залишковий ресурс, на основі якого роблять висновки про можливість подальшої експлуатації прилеглих ділянок НГП і термін наступного діагностування.

2. Процес за п.1, який **відрізняється** тим, що моделі -"вирізки" з локальними корозійними чи механічними дефектами експериментально досліджують на спеціальному дослідному стенді для оцінки залежностей параметрів кінетичних кривих втоми від геометрії дефекту.

3. Процес за п.1, який **відрізняється** тим, що на ділянках НГП з непрогнозованою зміною навантаженості встановлюють вставки з індикаторами навантаженості для уточнення їх залишкового ресурсу в процесі подальшої експлуатації.

Пропонована корисна модель відноситься до процесів і засобів оцінки залишкового ресурсу нафтогазопроводів (НГП) та збільшення нормативного (амортизаційного) терміну їх експлуатації шляхом дослідження НГП та виявлення домінуючих видів пошкоджень, які суттєво впливають на ресурс експлуатації окремих ділянок, вузлів, систем

НГП, дослідження впливу зовнішніх факторів, що найбільшою мірою впливають на можливість виникнення і розвитку пошкоджень.

Відомий процес визначення залишкового ресурсу об'єкта підвищеної небезпеки (ОПН) та збільшення нормативного терміну його експлуатації, що включає операції дослідження ОПН та вияв-

(19) UA (11) 18066 (13) U

лення домінуючих видів пошкоджень, що суттєво впливають на ресурс експлуатації окремих ділянок, вузлів, систем ОПН, дослідження впливу зовнішніх факторів, що найбільшою мірою впливають на можливість виникнення і розвитку пошкоджень [Деклараційний патент України на корисну модель №4687, G01 N3/00, G01 M3/22; опубл. 17.01.2005. Бюл. №1].

Недоліком описаного процесу є його недостатня інформативність, обумовлена відсутністю даних щодо міцності окремих ділянок НГП з накопиченими корозійно-втомними пошкодженнями та ступеня небезпеки локальних механічних та корозійних дефектів, а також часових тенденцій зміни їх геометричних розмірів.

Найбільш близьким до запропонованого за технічною суттю є відомий процес визначення залишкового ресурсу об'єкта підвищеної небезпеки (ОПН) та збільшення нормативного терміну його експлуатації [Деклараційний патент України на корисну модель №9437, G01 N3/00, G01 M3/22, опубл. 15.09.2005. Бюл. №9], що включає операції дослідження ОПН та виявлення домінуючих видів пошкоджень, які суттєво впливають на ресурс експлуатації окремих ділянок, систем ОПН, дослідження впливу зовнішніх факторів, які найбільшою мірою впливають на можливість виникнення і розвитку пошкоджень, під час дослідження ОПН вимірюють параметри, що характеризують технічний стан ОПН, на основі вимірювань визначають інтегральні характеристики технічного стану ОПН і часові тенденції зміни їх геометричних розмірів, визначають ділянки, вузли, системи ОПН, на які припадає домінуюча частина інтегральної характеристики, технічного стану ОПН, відображають результати досліджень у технічній документації ОПН, здійснюють комплекс робіт з удосконалення діючої системи паспортизації, зіставляють отримані значення інтегральних характеристик технічного стану ОПН та часових тенденцій зміни їх геометричних розмірів з даними інших методів обстеження технічного стану ОПН, виконують розробку плану компенсаційно-реабілітаційних заходів. Оцінку технічного стану ОПН згідно із цим способом здійснюють на базі даних внутрішньотрубною діагностики, для чого використовують внутрішній трубний діагностичний снаряд. Під час досліджень вимірюють параметри, що характеризують технічний стан ОПН, проте недосконалість цього процесу, як і попереднього, обумовлена відсутністю даних щодо міцності окремих ділянок з накопиченими корозійно-втомними пошкодженнями, що знижує достовірність оцінки ступеня небезпеки локальних механічних та корозійних дефектів і тенденції їх змін у часі.

Авторам не відомі працездатні процеси та засоби комплексного визначення залишкового ресурсу НГП та збільшення нормативного терміну їх експлуатації на основі безпосереднього дослідження реальних дефектів, отриманих в процесі експлуатації, які б враховували часові тенденції накопичення корозійно-втомного пошкодження, а також зміни геометричних розмірів дефектів.

Наявні розрахункові методики не дають об'єктивної інформації про реальний ресурс НГП. Таке

становище пояснюється, в першу чергу, відсутністю новітніх ефективних методів прогнозування ресурсу НГП. Так, в існуючій в ДК "Укртрансгаз" ["Методиці оцінки технічного стану труб газопроводу з тривалим строком експлуатації та його залишкового ресурсу"] відмічено, що на даний час в світі відсутні методики оцінки залишкового ресурсу підземних газопроводів з урахуванням їх корозійно-втомного пошкодження.

В основу пропонованого процесу поставлено задачу вдосконалення процесу визначення залишкового ресурсу НГП та збільшення нормативного терміну їх експлуатації шляхом наближення процесу дослідження окремих ділянок, вузлів систем НГП до реальних умов їх експлуатації, безпосереднього дослідження їх реальних дефектів, одержаних у процесі експлуатації, що дозволить забезпечити достовірність оцінки залишкового ресурсу НГП за рахунок одержання даних щодо міцності окремих ділянок НГП з накопиченими корозійно-втомними пошкодженнями та ступеня небезпеки локальних механічних та корозійних дефектів.

Реалізація пропонованого процесу оцінки залишкового ресурсу НГП дозволить забезпечити роботу нафтогазотранспортної системи з максимальною продуктивністю, виходячи з реального технічного стану окремих ділянок, або прийняти рішення про їх реконструкцію чи заміну. Впровадження процесу оцінки залишкового ресурсу НГП дозволить зменшити імовірність виникнення аварійних ситуацій на магістральних НГП, за рахунок чого зменшить витрати на їх обслуговування, покращить умови праці та підвищить безпеку експлуатації.

Поставлена задача вирішується завдяки тому, що у процесі визначення залишкового ресурсу нафтогазопроводів (НГП) та збільшення нормативного терміну їх експлуатації, що включає операції дослідження НГП та виявлення домінуючих видів пошкоджень, які суттєво впливають на ресурс експлуатації окремих ділянок, систем НГП, дослідження впливу зовнішніх факторів, які найбільшою мірою впливають на можливість виникнення і розвитку пошкоджень, під час дослідження НГП вимірюють параметри, що характеризують технічний стан НГП, на основі вимірювань визначають інтегральні характеристики технічного стану НГП і часові тенденції зміни їх геометричних розмірів, визначають ділянки, вузли, системи НГП, на які припадає домінуюча частка інтегральної характеристики технічного стану НГП, оцінюють ступінь небезпеки кожного дефекту, розробляють план компенсаційно-реабілітаційних заходів, згідно із запропонованим процесом операції дослідження НГП та виявлення домінуючих видів пошкоджень, які суттєво впливають на ресурс його експлуатації та дослідження зовнішніх факторів які впливають на можливість виникнення і розвитку пошкоджень, здійснюють безпосередньо із застосуванням моделей - "вирізок" НГП, вирізаних з ряду видалених, наприклад, під час ремонту за результатами попереднього діагностичного обстеження, дефектних ділянок НГП, з групуванням на типові вибірки за ступенем локального механічного, корозійного та втомного пошкодження, за результатами дослі-

дженів отримують параметри рівнянь кривих втоми НГП, на підставі яких будують натурні кінетичні криві втоми з різною ймовірністю неруйнування, за їх аналізом із застосуванням засобів комп'ютерного моделювання визначають емпіричні залежності параметрів кінетичних кривих втоми моделей-"вирізків" від ступеня втомного пошкодження ділянки НГП та геометричних параметрів локального дефекту, оцінюють ступінь небезпеки кожного конкретного дефекту та виділяють найбільш небезпечні, після цього за певними алгоритмами визначають гама-процентний залишковий ресурс, на основі якого роблять висновки про можливість подальшої експлуатації прилеглих ділянок НГП і термін наступного діагностування.

Також згідно із запропонованим процесом моделі-"вирізків" з локальними корозійними чи механічними дефектами експериментальне досліджують на спеціальному дослідному стенді для оцінки залежностей параметрів їх кінетичних кривих втоми від геометрії дефекту.

Також згідно із запропонованим процесом на ділянках НГП з не прогнозованою зміною навантаженості встановлюють вставки з індикаторами навантаженості для уточнення їх залишкового ресурсу в процесі подальшої експлуатації.

Особливістю пропонованого процесу є те, що вирізану, наприклад, під час ремонту, дефектну ділянку НГП використовують для виготовлення моделей-"вирізків" НГП.

Особливістю пропонованого процесу є і те, що виготовлення моделей-"вирізків" проводять вибірково за ступенем локального механічного, корозійного та втомного пошкодження з групуванням на типові вибірки.

Особливістю пропонованого процесу є і те, що моделі-"вирізків" експериментально досліджують на спеціальному дослідному стенді для оцінки залежностей параметрів їх кінетичних кривих втоми від геометрії дефекту.

Особливістю пропонованого процесу є і те, що згідно з аналізом результатів експериментальних досліджень роблять висновки про можливість подальшої експлуатації ділянок НГП та термін наступного діагностування.

Особливістю пропонованого процесу є і те, що на ділянках НГП з не прогнозованою зміною навантаженості встановлюють вставки з індикаторами навантаженості для уточнення їх залишкового ресурсу в процесі подальшої експлуатації.

Для вирішення проблеми оцінки залишкового ресурсу запропоновано використовувати кінетичні діаграми втоми, тобто криві втоми моделей-"вирізків" НГП при різних ступенях їх пошкодження.

Отримання параметрів рівнянь втоми НГП, особливо з великими діаметрами, є складною проблемою. Тому оцінку параметрів кривих втоми необхідно проводити за результатами випробувань моделей-"вирізків".

Якщо відмовою деталі може служити пошкодження тріщиною стінки, то параметри границь витривалості трубопроводу і моделі-"вирізків" з нього будуть належати до однієї вибірки, тобто в статистичному плані будуть однаковими.

Тому для більш точної оцінки залишкового ресурсу НГП пропонується використовувати моделі-"вирізків".

Для оцінки залишкового ресурсу необхідно провести випробування моделей-"вирізків" з різним фіксованим ступенем пошкодження. Традиційні методи виготовлення концентратора напружень V-подібного типу та подальшого вирощування втомної тріщини не відповідають вимогам до моделі НГП з корозійними та механічними пошкодженнями. Тому пропонується використовувати моделі з реальними пошкодженнями, одержаними в процесі експлуатації, наприклад, використовувати моделі-"вирізків" пошкоджених ділянок НГП після їх заміни при ремонті чи спеціальні вирізки в найбільш аварійне небезпечних місцях згідно з результатами попереднього діагностичного обстеження. Це дасть змогу більш точно оцінити залишковий ресурс ділянки НГП.

Для проведення випробувань моделей НГП необхідним є використання такого стенду, який дозволяє проводити випробування моделей-"вирізків" в широкому діапазоні геометричних параметрів жорстким навантажуванням на консольний згин з регулюванням амплітуди деформації та коефіцієнта асиметрії циклу R в межах $-1 \leq R < 1$. Оцінка залишкового ресурсу проводиться шляхом аналізу натурних кінетичних кривих пошкоджуваності небезпечних ділянок НГП за рахунок визначення їх силових та енергетичних характеристик з допомогою засобів комп'ютерної інженерної системи Ansys та експериментальних досліджень моделей-"вирізків". Це дає можливість урахувати зміни фізико-механічних характеристик металу і реальний вплив корозійної мало- і багатоциклової втоми. Для вирішення цього завдання розроблено вдосконалений спосіб прогнозування залишкового ресурсу з допомогою кінетичних діаграм втоми моделей-"вирізків".

Спосіб дозволяє будувати кінетичні діаграми втоми натурних зразків з достатньою точністю визначення ймовірнісних параметрів навіть при обмеженій кількості зразків. Суть даного способу полягає в наступному.

На першому етапі натурні деталі чи зразки-моделі групуємо за ступенем їх пошкодження (наприклад, за терміном експлуатації в типових умовах). Вибірki можуть бути і невеликими (5-10шт.), але доцільно мати збільшену кількість зразків з початковим рівнем пошкодження. Потім проводимо серію втомних випробувань зі зразками кожної групи.

Більша кількість непошкоджених зразків дозволяє одержати початкові орієнтовні параметри кривої втоми з більшою довірчою ймовірністю. Ці параметри використовуються для призначення рівнів експериментального навантаження зразкам з наступних серій. Рівні навантаження визначають з умов охоплення для кожної серії інтервалу багаточислової втоми ($N=10^4-10^7$ циклів до руйнування) з найбільшою рівномірністю, що значно спрощує подальші ймовірнісні розрахунки.

На другому етапі усі результати зводяться в генеральну вибірку і з допомогою програми обробки даних визначаються параметри усередненої

кривої втоми, для чого розроблено алгоритм обробки експериментальних даних, який призначений для використання в середовищі програмування комп'ютерної математичної системи Maple.

На основі алгоритму створена комп'ютерна програма для розрахунку та графічної побудови імовірнісних кривих втоми. Вхідними параметрами є списки зі значеннями напружень σ_i та циклів напружень N_i будь-якої довжини. На виході програми будується крива втоми та приводяться значення визначених у процесі досліджень її параметрами. Додаткові можливості програми полягають у побудові імовірнісних діаграм при імовірності неруйнування, крім медіанного значення $P=50\%$, також і при інших значеннях. Засоби програми дозволяють проводити розрахунок без використання таблиць в автоматичному режимі, що є досить зручно.

Так як дані параметри визначені на великій кількості експериментальних даних, то довірячність отримання їх медіанних значень буде високою.

Наступний етап обробки отриманих результатів полягає в наступному. Кінетичні діаграми втоми мають дуже важливу в даному випадку закономірність, яка підтверджена численними експериментальними дослідженнями. Вона полягає в тому,

що такі параметри кривої втоми як V_0 і $N = \frac{Q}{\sigma R}$ -

кількість циклів до точки нижнього перегибу кривої втоми не залежать від ступеня пошкодження деталі чи зразка. Тому ми можемо стверджувати, що

значення V_{0c} і $N_{0c} = \frac{Q}{\sigma R_c}$ - є медіанними значеннями параметрів V_0 і N_0 для кінетичних кривих втоми з різними ступенями пошкодження. Таким чином, подальша обробка експериментальних даних полягає у визначенні тільки границі витривалості σ_{Ri} , для кожної ступені пошкодження.

На основі даного алгоритму створена комплексна програма розрахунку параметрів та побудови кінетичних кривих втоми з різною імовірністю неруйнування. Приклад побудови кінетичних кривих втоми моделей-"вирізків" з різним ступенем корозійно-втомного пошкодження наведено на Фіг.1, де: 1 - без пошкоджень; 2 - корозійне пошкодження глибиною 1мм; 3 - корозійне пошкодження глибиною 2мм; 4 - корозійне пошкодження глибиною 2мм і втомною тріщиною глибиною 1мм.

Знаючи параметри кінетичних кривих втоми та напруження σ , визначають гама-процентний залишковий ресурс ділянки НГП. Але в більшості випадків для НГП тривалої експлуатації відтворити історію навантажування, а отже, і σ для кожної ділянки практично неможливо. В такому випадку в рівнянні кривої втоми необхідно використовувати еквівалентне, тобто рівне експлуатаційному за внесеним пошкодженням, напруження $\sigma_{екв.}$, яке визначається згідно із розробленим алгоритмом.

Але при експлуатації НГП визначення еквівалентної кількості циклів напружень ΔN також є складною задачею. В першу чергу це пояснюється випадковим характером навантажування, змінами режимів експлуатації та іншими випадковими фак-

торами. Постійний контроль навантаження тільки частково знімає цю проблему. Так, навіть при постійному моніторингу за напруженим станом у випадку складного багаточастотного навантажування зробити висновок про еквівалентну кількість циклів напружень неможливо без значних спрощень гіпотетичного характеру при схематизації процесу. Нами пропонується визначення ΔN з допомогою кінетичної діаграми втоми.

Для цього необхідно мати хоча б три криві втоми з визначеним терміном експлуатації в типових умовах p_i , наприклад, за кількістю років експлуатації.

При достатньо великих термінах експлуатації в типових умовах можна прийняти еквівалентну кількість циклів напружень за однаковий термін експлуатації ΔN величиною незмінною. Тоді шукані величини ΔN і σ визначаються з розв'язку розробленої системи рівнянь. Якщо у нас є результати більше як для трьох термінів експлуатації, то необхідно скласти і розв'язати не одну систему рівнянь, а декілька для комбінацій N_i-N_j . Безперечно, їх розв'язки будуть відрізнятися один від одного через статистичне розсіяння. Провівши статистичну обробку отриманої інформації, наприклад, з допомогою методу найменших квадратів, значення ΔN і $\sigma_{екв.}$ можна знайти з більшим ступенем довірчої імовірності. Для реалізації такого методу можна скористатися наведеними вище алгоритмами, провівши необхідне коректування. Приклад такого розрахунку в графічній формі наведено на Фіг.2.

Подібним чином розраховують залишковий ресурс ділянок, де визначальним є поступове зменшення товщини стінки НГП внаслідок загальної корозії. В такому випадку за міру пошкодження береться не термін експлуатації, а зменшення товщини стінки. Це дає можливість визначити мінімально допустиму товщину стінки з умови досягнення гама-процентної імовірності неруйнування ділянки.

Моделі-"вирізки" з локальними корозійними чи механічними пошкодженнями досліджують за подібною методикою. Особливістю процесу визначення залишкового ресурсу ділянок НГП з локальними корозійними чи механічними пошкодженнями є те, що провівши достатній об'єм досліджень, з їх аналізу та за допомогою засобів комп'ютерного моделювання визначають емпіричні залежності параметрів кінетичних кривих втоми моделей-"вирізків" від ступеня втомного пошкодження ділянки НГП та геометричних параметрів локального дефекту.

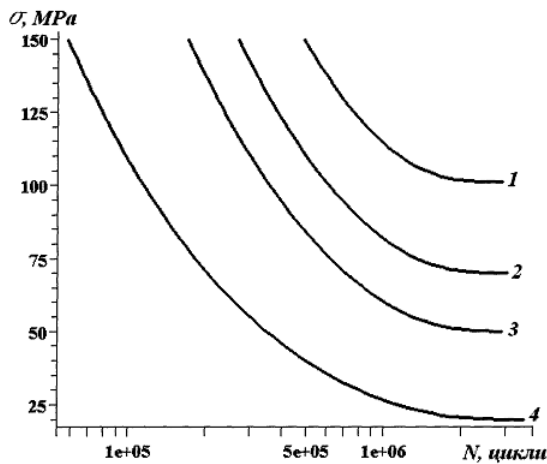
Наприклад, на Фіг.3, 4 наведено порівняльні результати дослідження НДС моделей-"вирізків" без і з локальним корозійним дефектом за допомогою засобів комп'ютерної інженерної системи Ansys. За даними експериментальних досліджень та комп'ютерного моделювання оцінюють ступінь небезпеки кожного конкретного дефекту та виділяють найбільш небезпечні.

Після цього з допомогою встановлених рівнянь визначають гама-процентний залишковий ресурс та на його основі роблять висновки про можливість подальшої експлуатації прилеглих ділянок НГП і термін наступного діагностування.

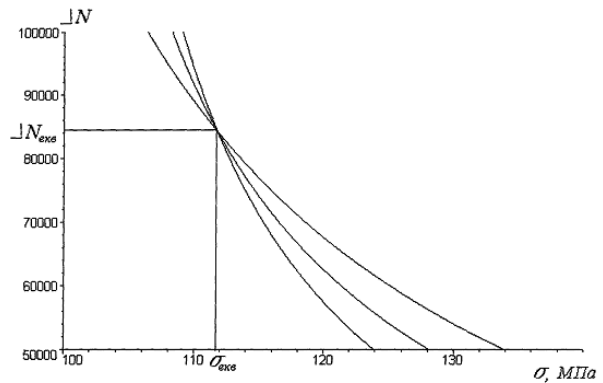
Перевагою такого методу є визначення гамма-процентного залишкового ресурсу ділянки із комплексним урахуванням локального та загального корозійно-втомного пошкодження.

На ділянках НГП, де є небезпека не прогнозованої зміни навантаження в процесі експлуатації (зсуви ґрунтів, повітряні та підводні переходи тощо), є доцільним встановлення спеціальної вставки з індикаторами навантаження (Фіг.5) для постійного моніторингу навантаженості аварійно небезпечних ділянок з метою коректування їх залишкового ресурсу з комплексним урахуванням навантажень. На Фіг.5 зображено: 1 - труба; 2 - індикатор; 3 - хомут; 4 - ізолюючий кожух; 5 - паз.

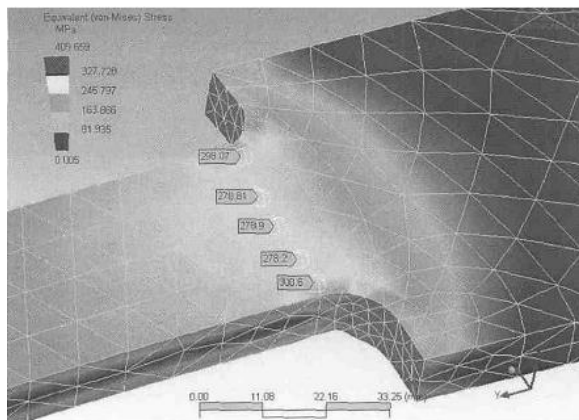
Для цього використовуються попередньо визначені параметри кінетичних кривих втоми індикаторів навантаженості. Провівши серію втомних випробувань індикаторів при різній ступені пошкодження (з різною довжиною вирощеної тріщини), отримаємо кінетичні діаграми втоми з імовірнісними характеристиками.



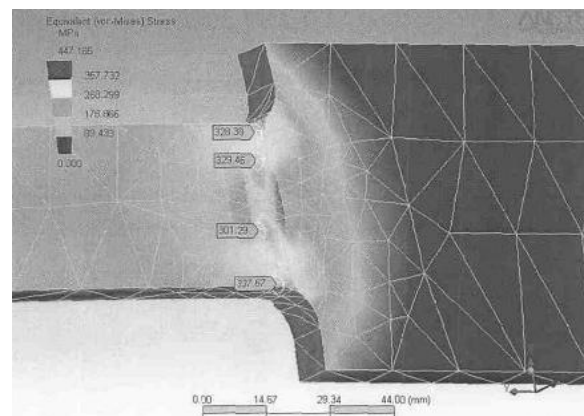
Фіг. 1



Фіг. 2



Фіг. 3

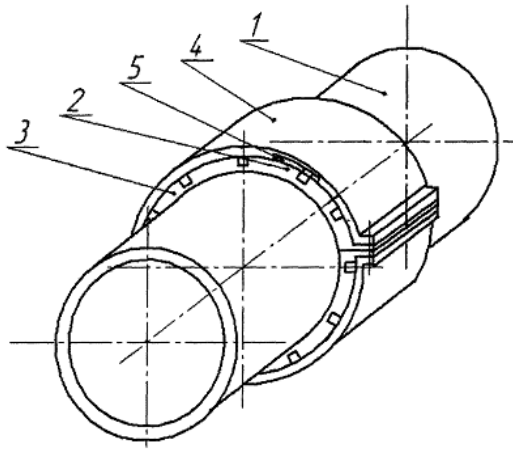


Фіг. 4

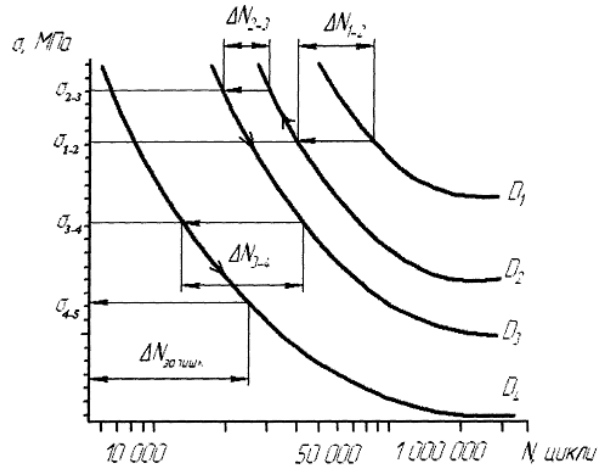
Схема урахування змінних напружень пояснюється прикладом, наведеним на Фіг.6. Згідно з Фіг.6 ділянка НГП перебувала під впливом трьох різних режимів навантаження з еквівалентними напруженнями σ_{1-2} , σ_{2-3} , σ_{3-4} і кількістю циклів N_{1-2} , N_{2-3} , N_{3-4} відповідно. В такому випадку кінетичні криві втоми матимуть вигляд D_2 , D_3 , D_4 відповідно і залишковий ресурс при напруженні σ_{4-5} буде дорівнювати $N_{залишк}$. Усі розрахунки проводять за допомогою розроблених алгоритмів.

Перевагами запропонованого процесу є:

- зменшені витрати на проведення експерименту при збереженні точності оцінки;
- автоматизована обробка даних з допомогою розробленого програмного забезпечення;
- оцінювання навантаження та прогнозування залишкового ресурсу в умовах мінімальної інформації про параметри його попередньої експлуатації.



Фіг. 5



Фіг. 6