

зміни: напрацювання, основної роботи і посиленого старіння (зносу). Відповідно під час першого періоду має місце зниження швидкості зміни параметра  $\xi$ , другого — її стабільність і в третій — зростання.

Відношення швидкостей зміни параметра  $\xi$  зносу в періоди напрацювання і основної роботи може служити показником якості конструкції лінійної частини, досконалості технологічного обслуговування. При високій якості висхідних матеріалів і добре організованому процесі будівництва і експлуатації трубопроводу швидкості зниження визначального параметра ( $\xi_0 \rightarrow \xi_{np}$ ) в періоди напрацювання і основної роботи майже не відрізняються.

Час безвідмовної роботи трубопроводу залежить від двох груп чинників: характеристик початкової якості (внутрішні чинники) і характеристик режиму роботи (зовнішні чинники).

Режим роботи лінійної частини трубопроводу доцільно оцінювати статистично. Ділянки одного і того ж трубопроводу можуть володіти як однаковим, так і різним опором до зовнішніх впливів. На їх якість впливає розподіл внутрішніх напружень, приховані дефекти внутрішньої структури матеріалу, випадкові коливання, технології виготовлення та інші випадкові причини. Тому при однакових навантаженнях час безвідмовної роботи однотипних ділянок лінійної частини трубопроводу буде різним.

Для взятої довільно ділянки трубопроводу з групи однотипних ділянок, що працюють при фіксованому навантаженні  $X_i$ , час безвідмовної роботи є випадковою величиною  $t_i$ . При змінному не випадковому навантаженні час безвідмовної роботи можна розглядати як випадкову функцію навантаження  $t(X)$ .

Порівнювати різні ділянки трубопроводу за часом безвідмовної роботи можна лише в тому випадку, якщо вони знаходяться в статистично однакових умовах. Випадкове навантаження  $X$  можна представити, наприклад, у вигляді суми проектного не випадкового навантаження  $X_0$  і випадкового відхилення навантаження  $\Delta X$  від проектного значення  $X_0$ .

Якщо випадкові відхилення  $\Delta X$  навантаження від проектного значення  $X_0$  невеликі, можна вважати, що реальний діапазон практичного розсіювання напрацювання на відмову лінійної частини є зумовлений виключно чинниками формування якості трубопроводу.

### Література

- 1 Молдаванов О.И. Качество сооружения магистральных трубопроводов. – М.: Недра, 1979. – 223 с.
- 2 Молдаванов О.И., Молдаванов И.И. Количественная оценка качества уплотнения трубопроводной арматуры. – М.: ВНИИЭ Газпром, 1973. – 241 с.

УДК 622.691.4

## ЗАХИСТ ДОВКІЛЛЯ ВІД АВАРІЙ І КАТАСТРОФ ТРУБОПРОВІДНИХ СИСТЕМ В СКЛАДНИХ УМОВАХ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

*Є.І.Крижанівський, Л.Я.Побережний, Л.Є.Шкіца*

*ІФНТУНГ, 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (03422) 42264*

*e-mail: poberezhny@nung.edu.ua*

*На основаних отечественного и зарубежного опыта защиты окружающей среды от аварий и катастроф трубопроводных систем предложена методология управления их ресурсом и безопасностью на всех стадиях жизненного цикла. Основываясь на экспериментальных данных введены новые критерии оценки остаточного ресурса и эксплуатационных рисков.*

*On the basis of domestic and foreign experience of defence of environment from pipeline systems failures and catastrophes methodology of management their resource and safety at all stages of life cycle is offered. Based on experimental information the new additional criteria of estimation of remaining resource and operating risks are entered.*

В наш час поглиблення екологічної кризи на планеті, коли зіткнення природи з цивілізацією та її законами все частіше закінчуються не на користь першої, коли через техногенну діяльність людини появляються нові і нові проблеми — глобальне потепління, зменшення товщини озонового шару, забруднення водних ресурсів планети, ґрунтів, вирубка тропічних лісів тощо; питання мінімізації негативного впливу на довкілля та науково обґрунтованих шляхів її вирі-

шення стоїть як ніколи гостро. Значна частка у забрудненні довкілля та негативному впливі на екологічну ситуацію належить світовому паливно-енергетичному комплексу і його частині — паливно-енергетичному комплексу України. Однією з багатьох причин погіршення екологічної ситуації є відмови та аварії нафто- та газопроводів. Надзвичайно важливим науковим завданням є пошук шляхів мінімізації впливу аварій нафтогазопроводів на довкілля.

Газотранспортний комплекс України – це понад 35000 км магістральних трубопроводів та близько 200000 км розподільчих мереж. Наша газотранспортна система – органічне продовження російської. Їх об'єднує спільна мета – транспортування сибірського газу до Європи. Вона є диверсифікаційним джерелом, яке забезпечує понад 30% потреби держави в газі та об'єктом особливої відповідальності. Це зобов'язує нас експлуатувати газотранспортну систему на оптимальних режимах з високою експлуатаційною надійністю, що зумовлює необхідність виконувати великий обсяг науково-дослідних робіт безпосередньо на працюючих об'єктах [1].

Паливно-енергетичний комплекс є одним з найважливіших секторів економіки країни. Враховуючи винятково важливу роль нашої держави, як найбільшого транзитера енергоресурсів до Євросоюзу, можна говорити, що стабільність і безаварійність роботи ПЕК України – це гарантія нашої енергетичної безпеки зокрема, та ЄС в цілому.

На початку нового тисячоліття потрібні нові наукові підходи до пошуку оптимальних, з точки зору безпеки, шляхів розвитку держави в цілому, та паливно-енергетичного комплексу зокрема. В XXI сторіччі технічні рішення, не здатні забезпечити промислову, соціальну та екологічну безпеку, не матимуть права на існування.

Враховуючи, що основні фонди трубопроводного транспорту, як і будь-які технічні об'єкти, старіють, деградація магістральних трубопроводів проходить із наростаючою швидкістю. Основні газо- та нафтопроводи були побудовані в 1960-1990 рр. Близько половини їх знаходяться в експлуатації більше 20 років, а близько чверті – більше 30. Збільшення строку безпечної служби таких трубопроводних систем – надзвичайно важлива науково-технічна проблема.

Шляхи її вирішення – широке впровадження сучасних методів діагностики (інтелектуальні поршні тощо), глобальний моніторинг, капітальний ремонт та реконструкція, але передусім – принципово нові, науково обґрунтовані технічні та технологічні рішення.

Більшість трубопроводних систем побудовані та експлуатуються по старих нормативних документах, які не враховують останні наукові та науково-технічні здобутки в області трубопроводного транспорту.

Зараз, як ніколи, існує нагальна необхідність застосування нових комплексних методик оцінки стану трубопроводу [2, 3], його залишкового ресурсу [4, 5], попередження пошкоджень трубопроводних систем, адекватної інтерпретації ситуації в аварійних умовах [6]. Особливо гостро проблема забезпечення надійної та безпечної експлуатації стоїть для трубопроводів, які експлуатуються у складних умовах – морських глибоководних та у зсувонебезпечних гірських районах.

Наростання потенційних та реальних загроз в техногенній сфері потребує радикально-го збільшення зусиль у вирішенні проблем еко-

логічної та технологічної безпеки. Техногенна безпека стає одним із важливих чинників забезпечення національної безпеки. І тільки розвиток високих промислових та інтелектуальних технологій з всебічним використанням критеріїв та сучасних способів її забезпечення може змінити наявні негативні тенденції.

Створення наукових основ аналізу та забезпечення надійності, безпеки і живучості трубопроводних систем в цілому, та тих, що експлуатуються у складних природних умовах, зокрема, у рамках механіки катастроф є важливим науковим завданням.

Механіка катастроф дає змогу, після докладного вивчення експлуатаційних навантажень та впливів, взаємодії з навколишнім середовищем, антропогенного чинника, через наступне експериментально-теоретичне моделювання створити апарат переходу до розрахункових діючих навантажень. Особливо важливим, на нашу думку, є проведення модельних [2, 3], а при необхідності частково і повномасштабних експериментів.

Причинами виникнення аварійних ситуацій є, як правило, відмови внаслідок помилок в проектуванні, порушенні технології виготовлення, умов та режимів експлуатації, а також природні явища на зразок землетрусів, зсувів ґрунту тощо. Слід також виокремити невідповідність ряду базових розрахункових критеріїв реальним характеристикам матеріалу трубопроводу, причому реальні механічні характеристики на 10...25 % нижчі, ніж наведені в довідниках для використання в розрахунках, внаслідок впливу текстури та механообробки, стандартні випробовування на розтяг недостатні для визначення низки важливих розрахункових характеристик, оскільки поведінка матеріалу при неоднорідному напруженому стані (згин, згин + розтяг) істотно відрізняється від такої при розтягу, характеристики, одержані при випробовуванні елементів конструкції в умовах, наближених до експлуатаційних, можуть відрізнитися на **20...100 % і більше** від наведених в довідковій літературі при використанні стандартних зразків, внаслідок того, що в більшості випадків довговічність та несучу здатність матеріалу конструкції контролює не навантаження, а фізико-хімічний вплив робочого середовища [3]. Однією з найвагоміших причин також є деградація властивостей матеріалу, граничні рівні нагромадження пошкоджень, утворення та спонтанне поширення тріщин. Також негативний вплив чинить так зване уповільнене руйнування – нагромадження пошкоджень та дефектів при статичному та квазістатичному навантаженні нижче границі текучості. Беручи до уваги сказане вище, можна зробити висновок, що правильний розрахунок металоконструкцій, а також прогнозування ресурсу їх роботи, неможливі без комплексних випробовувань матеріалу, який використовується безпосередньо при їх виготовленні.

Проблема забезпечення безпеки трубопроводних систем повинна вирішуватися комплексно на етапах проектування, будівництва та

експлуатації, з урахуванням не тільки можливості аварії чи катастрофи, а й їх наслідків для довкілля.

Виникає необхідність проведення великої кількості експериментальних досліджень, пов'язаних з вивченням поведінки матеріалу в умовах граничних станів і наступному прогнозуванню за критеріями міцності, ресурсу та надійності кінетики розвитку аварійної ситуації, живучості трубопроводу та негативних впливів на екологію.

На даний час при проектуванні трубопроводних систем завдання забезпечення їх безпеки вирішується наступним чином: якщо проект відповідає всім діючим нормам, то спеціальний кількісний аналіз безпеки не виконується.

Наше основне завдання – змінити підходи до розрахунків таким чином, щоб гарантовано виключити ймовірність важких аварій та катастроф. Це потребує комплексного аналізу безпеки, особливо для трубопроводів підвищеного ризику – морських глибоководних та таких, що пролягають у зсувонебезпечних районах гірської місцевості. В кінцевому етапі ми повинні навчитися управляти ресурсом та безпекою трубопроводних систем на всіх стадіях їх життєвого циклу – від проектування до експлуатації. Слід також виокремити надзвичайно важливий елемент – оцінку ризику, і звести його до прийняттого рівня.

**Ризик** – ступінь ймовірності певної негативної події, яка може відбутися в певний час або за певних обставин на території об'єкта підвищеної небезпеки та/або за його межами та є добутком ймовірності виникнення аварії та її наслідків.

**Прийнятний ризик** – ризик, який не перевищує на території об'єкта підвищеної небезпеки і за його межами гранично допустимого рівня [7].

У першу чергу на стадії робочого проектування поряд з розробкою креслень та технічної документації повинно проводитися обґрунтування безпеки (бажано з моделюванням важких аварій та катастроф і їх наслідків).

Загальний комплекс робіт з визначення ресурсу, залишкового ресурсу, живучості та безпеки трубопроводів включає поетапний їх розгляд на стадіях проектування, будівництва та експлуатації (рис. 1):

– на стадії проектування визначається та обґрунтовується за допомогою основних критеріїв (міцність, довговічність) та запропонованих нами додаткових [2, 3, 8], початковий ресурс безпечної експлуатації та визначаються критерії безпеки. Оцінку ресурсу та живучості слід проводити із запропонованими нами вище змінами та доповненнями, використовуючи не лише довідникові, а, головним чином, реальні фізичні та фізико-хімічні параметри матеріалу з неодмінним моделюванням майбутніх експлуатаційних навантажень та впливів;

– на стадії будівництва проводиться контроль відповідності проектній документації, обґрунтовується вибір матеріалів, проводиться дефектоскопічний контроль, визначається вихідний стан несучих елементів.

Зібрана інформація обробляється, аналізується і, таким чином, оптимізується вибір матеріалів та технологій для спорудження конкретного об'єкту;

– на стадії випробовувань проводяться стандартні, вогневі та інші стандартні (штатні) та нестандартні випробовування, визначення працездатності та уточнення ресурсу. За вибраними та науково обґрунтованими критеріями визначаються та оптимізуються режими експлуатації, з метою максимального збільшення ресурсу безпечної експлуатації та мінімізації відмов, і, як наслідок, зменшення рівня ризику та негативного впливу на довкілля;

– експлуатація включає передпускові випробовування, фізичний пуск та вихід на штатну експлуатацію. На даній стадії підтверджуються і, при необхідності, остаточно коректуються прийняті проектні рішення і визначаються додаткові критерії оцінки нагромаджених пошкоджень та залишкового ресурсу (величина навантаження  $P$ , його частота  $f$ , силовий та деформаційний критерії оцінки ефекту Баушінгера  $K_S$  і  $K_d$ , кількість циклів до руйнування  $N$ , коефіцієнт зменшення довговічності попередньо навантаженого матеріалу трубопроводу  $N_0/N_1$ , гранична амплітуда деформації початку поширення втомної тріщини  $\varepsilon_{Nc}^a$ , потенціал корозії  $E_{cor}$ , коефіцієнт локалізації корозійних процесів  $i_{0(cat)}/i_{0(an)}$ ), які найбільш прив'язані до реальних експлуатаційних навантажень та впливів. Визначаються поля фізичних та хімічних впливів, проводиться їх вивчення експериментальними та розрахунково-експериментальними методами. За визначеними критеріями проводиться комплексна діагностика трубопроводу. Наступним кроком є аналіз та прогноз ризику експлуатації даного об'єкта, його відповідність величинам прийнятних ризиків (економічних, екологічних тощо). Особливу увагу слід звернути на екологічний ризик, який прямо чи опосередковано приносить шкоду життю людини, яка є основним об'єктом «турботи» [7]. З урахуванням ризик-аналізу визначається остаточний залишковий ресурс трубопроводної системи.

Приоритетними в розробці нових концепцій безпеки, на нашу думку, є заходи, спрямовані на попередження важких аварій та катастроф, а також на мінімізацію їх негативних наслідків.

В більшості випадків важкі аварії та катастрофи супроводжувалися руйнуванням несучих елементів в потенційно небезпечних місцях. Це призвело до того, що найпоширенішою на даний час є практика обґрунтування міцності трубопроводних систем на базі комплексу характеристик та критеріїв руйнування (границі міцності, текучості, втоми, умовна границя корозійної втоми). На базі параметрів міцності та руйнування сформульовано поняття запасів міцності (в часовому, міцнісному та цикловому вираженні), які ввійшли в довідкову, навчальну та нормативну літературу. На даний момент склалася ціла система критеріїв та запасів міц-

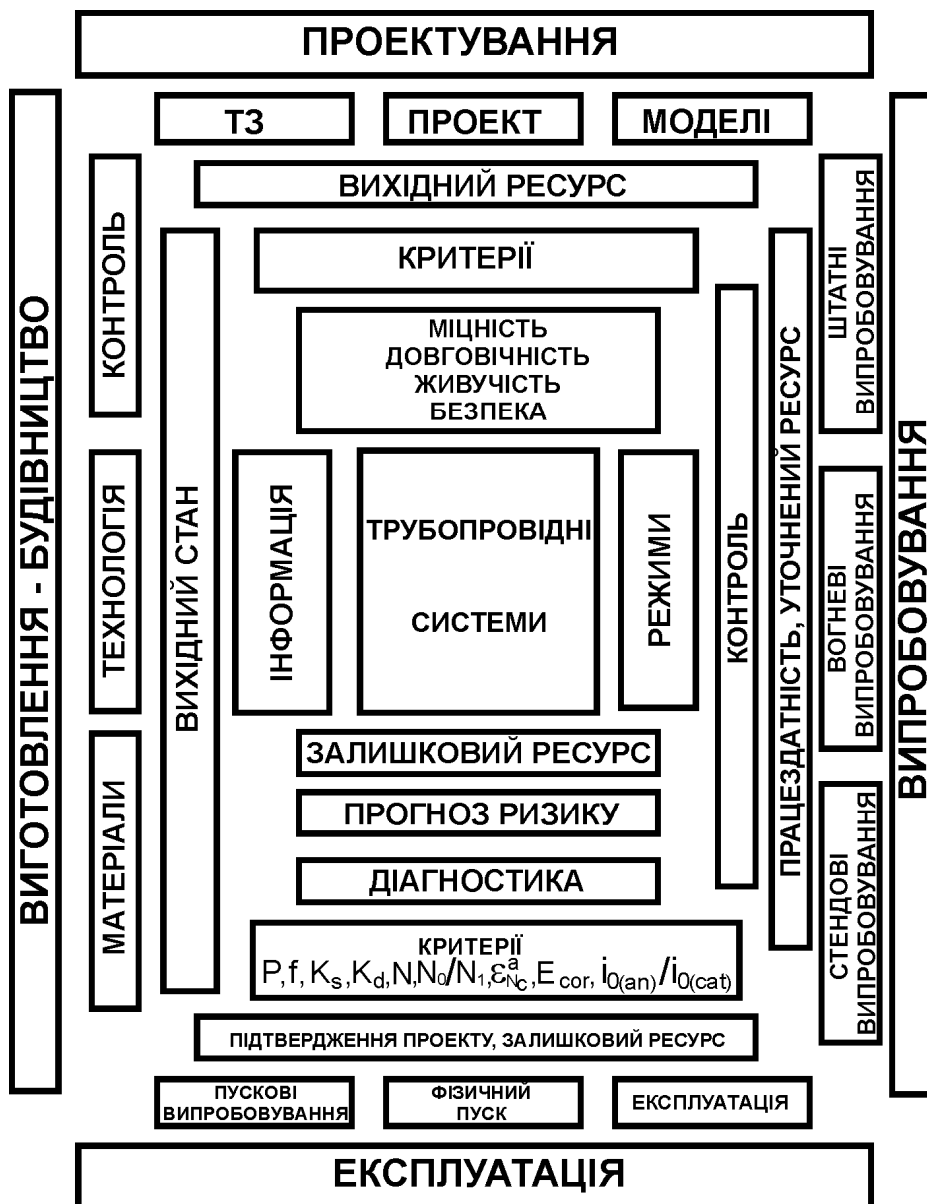


Рисунок 1 – Управління ресурсом та безпекою трубопровідних систем на різних стадіях життєвого циклу

ності, яка повинна гарантувати неруйнування трубопроводів при дотриманні заданих умов експлуатації. Однак, цих критеріїв недостатньо для кількісного визначення безпеки. Найбільш орієнтованими на кількісне вирішення проблем безпеки трубопровідних систем є наступні критеріальні групи:

- ризик;
- живучість при виникненні пошкоджень на різних стадіях аварій та катастроф;
- безпека (з урахуванням критеріїв та характеристик аварій і катастроф) [9].

Взаємозв'язок між надійністю, безпекою, ризиком та ресурсом добре ілюструє рис. 2.

Для захисту трубопровідних систем від важких аварій та катастроф потрібно виконати наступні розробки:

- аналіз важких аварій і катастроф на газонафтопроводах з ґрунтовним аналізом їх причин та наслідків;

– аналіз діючих нормативних розрахунково-експериментальних обґрунтувань міцності та ресурсу трубопроводів;

– розробка методології випробовувань на міцність, довговічність, живучість та безпеку на основі нині діючих та нових спеціалізованих випробовувань;

– розвиток систем діагностики потенційно найнебезпечніших станів трубопровідних систем з використанням як традиційних, так і новітніх підходів;

– розробка та широке впровадження у трубопровідну галузь елементів ризик-аналізу, щоб на зміну існуючій концепції безпеки – «реагувати та виправляти» прийшла більш сучасна «передбачати і випереджувати» [9, 10].

Зазначені вище підходи дадуть змогу здійснити перехід до нових методів забезпечення безпеки трубопровідних систем на всіх стадіях, починаючи від проектування і закінчуючи

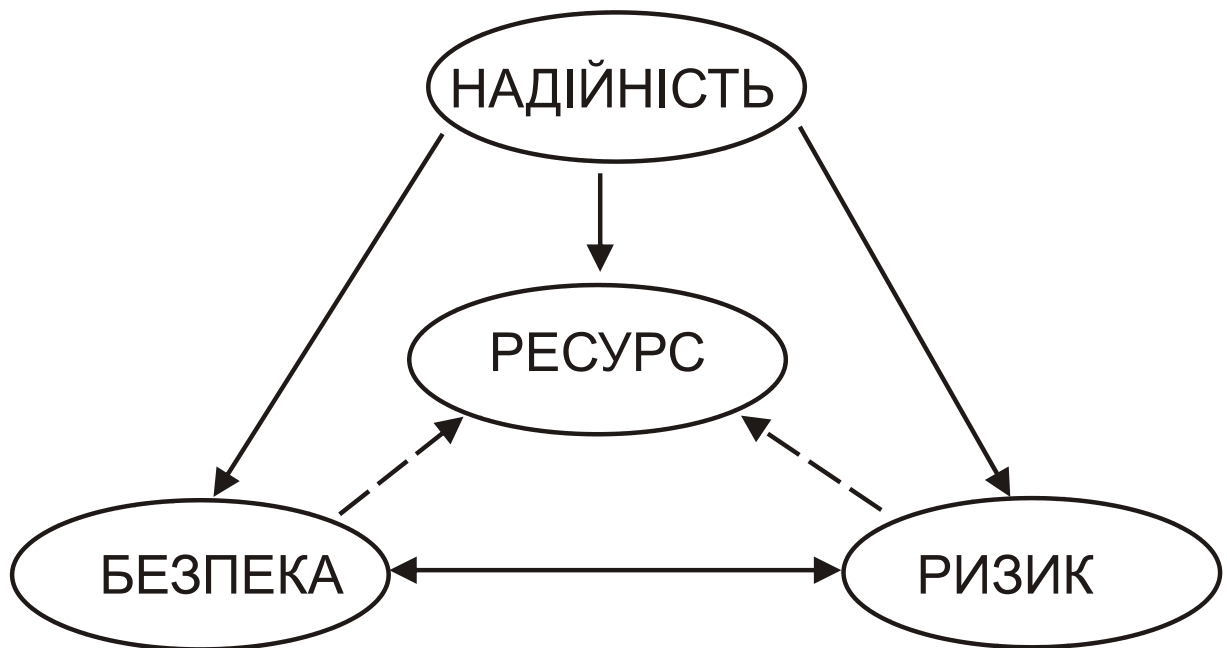


Рисунок 2 – Генетичний зв'язок безпеки та надійності з ресурсом та ризиком

експлуатацією, та забезпечити якісно вищий рівень безпеки нових трубопровідних систем і попередження важких аварійних ситуацій на нині діючих. Запровадження ризик-аналізу дасть змогу значно покращити управління ресурсом нафтогазопроводів, підвищити їх безпеку і надійність, сприятиме зменшенню екологічних ризиків та покращенню стану довкілля. На даний час такі передові підходи недостатньо впроваджені не лише на Україні, але й на європейських теренах [10, 11]. Якщо їх не запровадити найближчим часом, існує велика імовірність, що значна частина трубопроводів, особливо тих, що експлуатуються в складних умовах, створюватимуть неприйнятний ризик, а будь-яка діяльність, яка створює ризик, що перевищує прийнятний, є неприпустимою, незалежно від вигоди, що вона приносить [7]. В таких умовах адекватна і своєчасна оцінка ризику дозволить передбачати значну кількість аварій та відмов і дасть змогу розробити комплекс заходів з їх попередження та зменшення експлуатаційних ризиків до прийнятних.

При цьому головну увагу слід звернути на екологічний ризик, оскільки навіть незначні аварії в гірських районах здатні зруйнувати унікальні біосферні заповідники. Так, концентрація нафти у воді менше 0,5 мільйонної частки здатна призвести до загибелі форелі. Вплив розливів нафти на основні місцеві види рослин може продовжуватися від декількох тижнів до 5 років, а для повного відновлення пошкодженої екосистеми лісу буде потрібно 10-15 років. В морських районах, внаслідок значної зони поширення та труднощів з локалізацією, набуватимуть значних масштабів. Розливи нафти від середніх до великих викликають зазвичай загибель 5000 птахів. Докладне вивчення впливу нафтогазопроводів на всіх стадіях їх життєвого циклу та продуктів, що ними транспорту-

ються, на довкілля (здоров'я людей, флору, фауну, атмосферу тощо), вивчення статистики відмов та їх причин, вивчення поведінки матеріалу трубопроводів з моделюванням як експлуатаційних навантажень та впливів, так і аварійних ситуацій з екстремальними режимами навантаження, проведення діагностики діючих трубопроводів з визначенням запропонованих нами додаткових критеріїв дасть змогу управляти їх ресурсом та безпекою, коректно оцінити екологічний ризик та розробити заходи з його мінімізації.

Навіть часткове вирішення цієї важливої науково-технічної проблеми матиме велике значення для нафтогазового комплексу держави зокрема, та народного господарства України загалом.

### Висновки

Стабільність та безаварійність роботи нафтогазотранспортної системи – гарантія енергетичної безпеки України та Євросоюзу.

Більшість трубопроводів близькі до вичерпання ресурсу експлуатації і збільшення строку їх безпечної служби – надзвичайно важлива проблема.

Необхідно створити наукові основи аналізу та забезпечення надійності, безпеки і живучості трубопровідних систем; а також керування їх ресурсом та безпекою на всіх стадіях життєвого циклу – від проектування до експлуатації.

Запровадження ризик-аналізу дасть змогу значно покращити управління ресурсом нафтогазопроводів, підвищити їх безпеку і надійність, сприятиме зменшенню екологічних ризиків та покращенню стану довкілля.

Настав час змінити підходи до захисту довкілля і зосередити основну увагу не на способах ліквідації наслідків аварій, а на запобіганні їм.

Назріла необхідність створення оновленої концепції забезпечення безпеки та надійності трубопровідних систем.

### Література

1 Крижанівський Є.І. Нафтогазова енергетика // Нафтогазова енергетика. – 2006. – №1. – С. 5-9.

2 Крижанівський Є.І., Побережний Л.Я. Методологічні аспекти дослідження взаємозв'язку процесів деформації та руйнування трубопроводів // Нафт. і газова пром-сть. – 2002. – №. 5. – С. 33-38.

3 Крижанівський Є.І., Побережний Л.Я. Методологія дослідження деформації та руйнування трубопровідних систем // Матеріали III міжнародної конференції „Механіка руйнування матеріалів і міцність конструкцій”. – Львів, 2004. – С. 419-424.

4 Побережний Л.Я. Прогнозування корозійної витривалості трубних сталей та зварних з'єднань при низьких частотах навантаження // Науковий вісник ІФНТУНГ. – 2003. – № 2. – С. 79-82.

5 Побережний Л.Я. Прогнозирование ресурса работы морских нефтегазопроводов // Материалы международной конференции „Разрушение и мониторинг свойств металлов”, Екатеринбург, Россия, 26-30 мая 2003 г. – Екатеринбург: ИМАШ УрОРАН, 2003. – С. 87.

6 Крижанівський Є.І., Побережний Л.Я. Спосіб оперативної діагностики зломів матеріалів / Деклараційний патент № 46499А, кл. 7 G01N21/00, G01N3/00. Держдепартамент ІВ, Бюл. № 5. 15.05.2002.

7 Методика визначення ризиків та їх прийнятних рівнів для декларування безпеки об'єктів підвищеної небезпеки: Наказ №637 Міністерства праці та соціальної політики від 4 грудня 2002 р. – К.: Основа, 2003. – 192 с.

8 Побережний Л.Я. Закономірності деформації і руйнування морських трубопроводів при статичному та низькочастотному навантаженні: Автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.15.13 / Івано-Франківський національний техн. ун-т нафти і газу. – Івано-Франківськ, 2002. – 19 с.

9 Мазур И. И., Иванцов О. М. Безопасность трубопроводных систем. – М.: ИЦ «Элима», 2004. – 1104 с.

10 Анализ аварийного риска и обеспечение безопасности химически опасных объектов / В.Г.Горский, Т.Н.Швецова-Шидловская, В.В.Кирсанов, Г.Ф.Терещенко // Хим. пром-ть. – 2002. – № 4. – С. 1-14

11 Ориняк І.В., Бородій М.В., Батура А.С. Наукові і організаційні засади впровадження ризик-аналізу в практику управління цілісністю магістральних трубопроводів / Цільова комплексна програма НАНУ «Проблеми ресурсу і безпеки експлуатації конструкцій, споруд та машин» – К.: Інститут електрозварюванні ім. Є.О.Патона НАНУ, 2006. – С. 11-15

УДК 622.692.4

## ПРОГНОЗУВАННЯ НЕРІВНОМІРНОСТІ ГАЗОСПОЖИВАННЯ

О.С.Тараєвський

ІФНТУНГ, 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (03422) 42166  
e-mail: public@nung.edu.ua

*Представлены результаты экспериментальных исследований и проанализированы влияния неравномерности газопотребления и концентраций напряжений на состояние газопровода, его механических свойств сварных соединений. Разработана методика, дает возможность получить достоверный прогноз остаточного ресурса работы сварных соединений газопровода и установит оптимальный режим работы КС.*

В інфраструктурі паливно-енергетичного комплексу України важливу роль відіграє трубопровідний транспорт. Через територію країни прокладено понад 35 тис. км. магістральних газопроводів. Більшість газопроводів експлуатуються уже тривалий час і чимало з них відпрацювали амортизаційний термін. Стабільна робота магістрального трубопроводу залежить від його технічного стану.

У процесі експлуатації газотранспортного комплексу України, газопроводи піддаються статичним, циклічним, динамічним навантажен-

*The results of experimental investigations are presented, the impact of irregularity of gas consumption, the stress concentration on the gas pipeline state and its mechanical properties of annular couplings are analyzed. The procedure was developed, which enables to get a reliable prediction of the residual resource of work of welding annular couplings in gas pipelines and thus to establish an optimal working system of annular couplings..*

ням та впливу корозійного середовища, одночасна дія яких призводить до корозійно – втомного руйнування. Високий рівень напружень у стінках газопроводів, викликаний внутрішнім тиском (до 7,5 МПа) перекачуваного газу, а для зварних кільцевих з'єднань ще й високим рівнем залишкових зварювальних напружень, які можуть сягати  $(0,4..0,6) \sigma_T$ , ставить особливі вимоги як до визначення їх величин так і прогнозування режимів експлуатації газопроводів.

Важливим етапом проведення досліджень є статистичний аналіз реальних режимів роботи