

## АНАЛІЗ РИЗИКІВ БЕЗПЕЧНОЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ІНЖЕНЕРНИХ СПОРУД ЗНАЧНОЇ ДОВЖИНИ ТА ПІДХОДИ ДО ЇХ ОЦІНКИ

С.П. Ващишак, П.М. Райтер, А.В. Яворський

ІФНТУНГ, 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (0342) 506611,  
e-mail: tdm@nuing.edu.ua

Визначено основні технологічні об'єкти зі значною довжиною, які мають найвищі ризики аварій, зумовлені зміною факторів геодинамічної природи. Наведено алгоритм реалізації концепції безпечної експлуатації таких об'єктів на прикладі магістральних трубопроводів. Запропоновано класифікацію факторів оцінювання можливості виникнення аварій на таких об'єктах. Розглянуто підходи до моніторингу стану та процесів розвитку особливостей в геодинамічних зонах, де знаходяться інженерні споруди значної довжини, та обґрунтовано доцільність реалізації автономних пристроїв моніторингу.

Ключові слова: геодинамічна зона, технологічний об'єкт, значна довжина, моніторинг, безпечна експлуатація

Определено основные технологические объекты имеющие значительную длину и наивысшие риски аварий, обусловленные изменением факторов геодинамической природы. Приведено алгоритм реализации концепции безопасной эксплуатации таких объектов на примере магистральных трубопроводов. Предложено классификацию факторов оценивания возможности возникновения аварий на таких объектах. Рассмотрено подходы к мониторингу состояния и процессов развития особенностей в геодинамических зонах, где проложены инженерные сооружения значительной длины, и обосновано целесообразность реализации автономных устройств мониторинга.

Ключевые слова: геодинамическая зона, технологический объект, значительная длина, мониторинг, безопасная эксплуатация

The main processing facilities that have considerable length and highest failure risk caused by changes in the factors of the geodynamic nature have been determined. The algorithm for the realization of concept for safe operation of such facilities on an example of main pipelines has been adduced. The classification of factors for evaluation of an accident possibility on such facilities has been proposed. Approaches to monitoring of state and the processes of peculiarities development in geodynamic zones, where engineering constructions of considerable length are laid, were described, and feasibility of self-contained monitoring device realization has been proved.

Keywords: geodynamical zone, processing facilities, considerable length, monitoring, safe operation

Методологія оцінювання ризику та безпеки експлуатації великих систем інтенсивно розвивається з 70-х років ХХ століття у зв'язку з поширенням і розвитком ядерної зброї та енергетики, космічної техніки, складних хімічних виробництв і т. ін. [1]. Для технічних систем та інженерних споруд значної довжини, поряд з вище вказаними чинниками, суттєвими на нашу думку є і геодинамічні впливи, що виступають як параметричні джерела деформацій та напружень таких систем і споруд.

До технологічних об'єктів геодинамічного впливу зі значною довжиною, які відносяться до потенційно небезпечних інженерних споруд, доцільно віднести наступні:

1. Газопроводи металеві: магістральні; промислові, підземних сховищ газу; промислові, високого тиску (до ГРП); промислові, низького тиску (після ГРП).

2. Нафто- та продуктопроводи металеві: магістральні; промислові (ДТ, мазут, тощо).

3. Аміакопроводи та інші продуктопроводи хімічних виробництв.

4. Газонафтопроводи пластмасові.

5. Трубопроводи міської каналізації: металеві; пластмасові.

6. Трубопроводи мереж теплопостачання.

7. Кабелепроводи: електричні кабелі; кабелі зв'язку та телекомунікацій.

Згідно з концепцією «безпечної експлуатації складних технічних систем» [1] оцінка технічного стану потенційно небезпечних інженерних споруд значної довжини здійснюється за параметрами технічного стану, які забезпечують їх надійну та безпечну експлуатацію. Аналіз працездатності і оцінка залишкової міцності базується на параметрах технічного стану, зміна яких може вивести з ладу споруду. Визначення цих параметрів, як правило, реалізуються методами і засобами неруйнівного контролю. В процесі такого контролю інженерних споруд в першу чергу проводяться роботи з аналізу стану самої споруди. При цьому не береться до уваги стан зовнішнього середовища і вплив його змін на вказану споруду. Це спричиняє неповне вирішення основної задачі технічного діагностування – визначення дефекту технічних систем і причин їх виникнення та розвитку. Тому метою досліджень є аналіз існуючих ризиків безпечної експлуатації інженерних споруд значної довжини за умови зміни стану навколишнього середовища та розробка підходів для оцінювання рівня таких змін. Однією з основних складових зміни стану навколишнього середовища, що суттєво впливають на інженерні споруди значної довжини, є геодинамічні впливи.



**Рисунок 1 – Схема реалізації концепції безпечної експлуатації потенційно небезпечних інженерних споруд значної довжини (магістральних трубопроводів)**

На рис. 1 зображено схему реалізації концепції безпечної експлуатації характерного прикладу потенційно небезпечних інженерних споруд значної довжини – магістральних трубопроводів за їх технічним станом на основі даних неруйнівного контролю.

Старіння металевих комунікацій проявляється у деградації властивостей металу, розвитку пошкоджень і дефектів в стінках труб чи у провідниках кабельних мереж. З плином часу експлуатаційні пошкодження і дефекти металу стають основною причиною відмов та руйнувань підземних комунікацій.

Працездатність і безпека експлуатації потенційно небезпечних інженерних споруд значної довжини в умовах їхнього старіння забезпечується шляхом реалізації взаємопов'язаних заходів:

– оцінки допустимості виявлених при неруйнівному контролі недосконалостей, пошкоджень та дефектів, ранжування їх за ступенем безпеки, визначення пріоритетів ремонтних робіт і періодичності діагностичних обстежень;

– вибіркового ремонту, які проводяться з використанням даних неруйнівного контролю, що забезпечують повне відновлення несучої здатності пошкоджених ділянок, продовження терміну експлуатації комунікацій значної довжини.

Важливе значення має визначення періодичності контролю, яке безпосередньо пов'язане із забезпеченням надійності комунікацій. За час до чергової інспекції дефекти не повинні отримати розвитку до критичних розмірів і стати причиною відмови або аварії.

Таблиця 1 – Фактори оцінювання можливості виникнення аварій на потенційно небезпечних інженерних спорудах значної довжини

Найменування групи факторів	Найменування факторів
Фактори технічного стану ділянки потенційно небезпечної інженерної споруди значної довжини за даними неруйнівного контролю	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Кількість небезпечних дефектів.</li> <li>2. Відносний показник втрати міцності комунікації, зумовлений наявністю небезпечних дефектів.</li> <li>3. Термін ремонту ділянок з небезпечними дефектами.</li> <li>4. Кількість виявлених незначних дефектів.</li> <li>5. Ймовірність розвитку незначних дефектів до досягнення стану небезпечних.</li> </ol>
Конструктивно – технологічні фактори	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Довжина ділянки комунікації.</li> <li>3. Конструктивно-габаритні параметри комунікації.</li> <li>4. Фактична товщина стінок комунікації.</li> <li>5. Марка сталі, її механічні характеристики.</li> <li>7. Термін експлуатації досліджуваної ділянки.</li> <li>8. Виготовлювач комунікацій.</li> <li>9. Категорія ділянки за складністю проведення робіт.</li> <li>11. Наявність захисних покриттів.</li> <li>12. Характеристики підводних переходів.</li> </ol>
Фактори експлуатаційного навантаження комунікації чи споруди (залежно від призначення споруди)	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Паспортна продуктивність.</li> <li>2. Середньорічні об'єми технологічного навантаження.</li> <li>3. Дані про робочий тиск або електричні параметри для кабелів.</li> <li>4. Несуча здатність ґрунту.</li> <li>5. Фізико-хімічні характеристики продукту транспортування;</li> </ol>
Фактори корозійного впливу	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Корозійна активність ґрунту.</li> <li>2. Кліматичний район.</li> <li>3. Тип зовнішнього ізоляційного покриття (матеріал, конструкція і спосіб нанесення).</li> <li>4. Тривалість експлуатації комунікації без заміни ізоляційного покриття.</li> <li>5. Захищеність ділянки по довжині засобами електрохідзахисту.</li> <li>6. Дані про наявність ділянок, де комунікація виходить з ґрунту у воду або назовні і навпаки.</li> <li>7. Корозійна активність транспортованого продукту.</li> </ol>
Антропогенні фактори	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Рівень господарської активності поблизу ділянки пролягання підземної комунікації.</li> <li>2. Розміщення сусідніх промислових об'єктів; (газопроводів, продуктопроводів, доріг і т. ін.).</li> </ol>
Фактори природних впливів	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Можливість деформації ґрунту (обвали, зсуви, просідання та здійснення ґрунту і т. ін.);</li> <li>2. Можливість нерівномірного осідання ґрунту;</li> <li>3. Можливість розмиву ґрунту через зміну русла річок або дію підґрунтових вод.</li> <li>4. Зміна рельєфу місцевості.</li> </ol>

Таким чином, визначення періодичності неруйнівного контролю потребує врахування впливу як факторів, що визначають можливість виникнення аварій, так і факторів, які характеризують величину збитків від можливих аварій.

Статистичні дані про відмови та аварії у роботі потенційно небезпечних інженерних споруд значної довжини [1, 3, 6], а також аналіз механізмів виникнення і розвитку дефектів дав змогу виявити основні фактори можливості виникнення аварій (табл. 1). Серед цих факторів основною є інформація про дефекти (група 1 табл. 1).

Фактори технічного стану досліджуваної ділянки трубопроводу за даними внутрітрубних інспекцій визначають вплив на ймовірність ава-

рії кількості та параметрів дефектів, які виявлені внутрітрубними снарядами.

Висока точність вимірів геометричних параметрів дефектів внутрітрубними снарядами з високою роздільною здатністю дає змогу виконувати розрахунки дефектних ділянок на міцність.

В результаті розрахунку на міцність визначаються небезпечні дефекти, в зонах яких може відбутись руйнування трубопроводу. Небезпечні дефекти підлягають якнайшвидшому ремонту.

Частина дефектів, які залишаються на момент, наприклад, проведення внутрітрубної діагностики для трубопроводів не вимагають прийняття термінових дій з проведення ремонтів,

але вони в подальшому можуть розвиватись і досягти стану небезпечних.

Конструктивно-технологічні фактори (група 2 табл. 1) визначають вплив на ймовірність виникнення аварії конструктивних особливостей потенційно небезпечних інженерних споруд значної довжини і якості будівельно-монтажних та ремонтних робіт.

Фактори експлуатаційного навантаження потенційно небезпечних інженерних споруд значної довжини (група 3 табл.1) визначають вплив на ймовірність виникнення аварії ступеня навантаження споруди в процесі експлуатації і враховують циклічність навантаження внутрішнім або зовнішнім тиском транспортування, розміщення насосно-компресорних станцій на досліджуваній ділянці, можливість появи гідроударів.

Фактори корозійного впливу (група 4 табл. 1) визначають вплив на ймовірність виникнення аварії потенційно небезпечних інженерних споруд значної довжини параметрів, які сприяють виникненню і розвитку корозійних дефектів.

Антропогенні фактори (група 5 табл. 1) визначають ймовірність пошкодження протяжних потенційно небезпечних інженерних споруд в результаті антропогенної активності в зоні їх прокладання, що полягає у збільшенні ризику пошкодження тіла споруди в результаті несанкціонованих робіт їх трасах і аварій на сусідніх об'єктах.

Фактори природних впливів – це параметри, які характеризують можливість пошкодження трубопроводу в результаті руху ґрунту. Ці фактори визначаються ландшафтно-геохімічними положенням, кліматичними і гідрогеологічними умовами території пролягання потенційно небезпечних інженерних споруд значної довжини.

В процесі розрахунку періодичності виконання неруйнівного контролю стану потенційно небезпечних інженерних споруд значної довжини необхідно враховувати фактори, які визначають величину збитків навколишньому середовищу і населенню від можливої аварії. Величина збитків визначається:

- площею забруднення території, яка є наслідком аварії;
- площею відновлюваної після забруднення території;
- природно-кліматичними характеристиками території, де знаходиться підземна комунікація;
- густиною населення в районі пролягання комунікації;
- об'ємом втрачених енергетичних та силових продуктів;
- економічними збитками від зупинки і простоювання комунікації.

Згідно зі статистичними даними вагомими важкопередбачуваними причинами впливу на технічний стан інженерних споруд значної довжини є фактори природних впливів, які залежать від геодинамічних неоднорідностей в зоні пролягання цих інженерних споруд.

За визначенням М.С. Молоденського [2], геодинаміка неоднорідностей об'єднує кінематичну та динамічну геодезію. Кінематична геодезія вивчає рух земної кори в геодинамічних зонах (ГДЗ), динамічна геодезія – розподіл сил та напружень земної кори і зокрема в ГДЗ. Відповідним чином поділяються і методи контролю. Але при виборі методів дослідження слід взяти до уваги, що зміна властивостей земної кори в часі призводить до утворення та зміни різномасштабних неоднорідностей:

- структурні неоднорідності;
- геофізичні неоднорідності;
- геодинамічні неоднорідності.

Зміна стану геологічного середовища проявляється в часових варіаціях різних параметрів фізичних полів. При цьому змінюються:

- нахили поверхні;
- деформації (наприклад зсуви ґрунту);
- швидкості перебігу сейсмічних хвиль;
- електромагнітні властивості ґрунтів;
- гідрогеодинамічні режими руху підґрунтових вод;
- дебіт нафти та газу тощо.

Інструментально просторово-часові варіації фізичних полів вимірюють при довготривалому спостереженні за варіаціями фізичних параметрів – моніторингу геологічного середовища і/або його окремих частин. Деформація земної кори становить близько 50-70 мм на рік. Аномальні рухи земної кори: вертикальні і горизонтальні, високоградієнтні (вище 50 мм на рік), короткоперіодичні (від 0,1 року до кількох років), просторово-локалізовані (від 0,1 км до перших десятків км). Аномальні рухи земної кори можуть мати пульсаційну і знакозмінну спрямованість [4,5].

При переміщенні блоків ГДЗ виникають ділянки з підвищеними механічними напруженнями від деформацій різного характеру і знаку – розтягу, стиснення, зсувів. В ГДЗ значно змінюється склад газової фази ґрунтів, оскільки з надр активно просочуються гази різного походження – CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, H<sub>2</sub>S, O<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, Cl, F та ін.

Підвищення рівня напружень та вмісту агресивних газів у ГДЗ призводять до активізації підземної корозії, стрес-корозії, росту тріщин і збільшенню числа відмов підземних трубопроводів, свердловин та технологічного обладнання.

Моніторинг стану та процесу розвитку усіх вище наведених характерних особливостей, наявних в ГДЗ, де знаходяться інженерні споруди значної довжини, можливий на базі двох наступних підходів.

Перший, більш глобальний, полягає в реалізації комплексу різноманітних методів дослідження властивостей ГДЗ, в основі якого лежить оцінка об'єкта загалом (усієї території, через яку проходять інженерні споруди значної довжини) у визначений момент часу. До цих методів відносяться: фотограмметрія, аерофотозйомка в інфрачервоному спектрі, застосування технологій ідентифікації на базі геоінформаційних систем, оцінка гравітаційних та магнітних полів в зонах прогнозованих ГДЗ, ви-

значення рівнів ґрунтових вод та зон ймовірних зсувних процесів. Недоліками такого підходу є: необхідність забезпечення ідентичності всього комплексу вимірювань загальної площі об'єкта через певний період часу, тривалість якого важко однозначно обґрунтувати; довготривалість та висока вартість виконуваних робіт, необхідність залучення значних матеріальних та людських ресурсів, значні об'єми вимірюваних даних та складність обробки інформації.

Другий підхід полягає в локалізації ділянок контролю в областях, де існує висока ймовірність непрогнозованої зміни характеристик ГДЗ і обмеження цих ділянок зоною розміщення інженерних споруд значної довжини. Водночас значно підвищується достовірність моніторингу за рахунок виконання автономних вимірювань у всіх визначених точках контролю, строго синхронізованих в часі. Синхронізація досягається застосуванням електронних модулів реєстрації реального часу і збереження їх значень разом з цільовими вимірюваними параметрами в геодинамічній зоні. Наступна перевага автономного методу контролю базується, як правило, на неоднорідності впливу багатьох типів завад на сенсори та процес контролю параметрів у ГДЗ. Це дає можливість в процесі опрацювання вимірюваних даних мінімізувати або виключити вплив сигналів завад на процес контролю. Основним недоліком методу є необхідність індивідуального зчитування інформації з кожного поста контролю і поповнення енергією джерел живлення автономних пристроїв. Але, враховуючи, що контрольовані процеси є порівняно інерційними, а об'єми модулів електропрограмованої пам'яті на даний час досить значні, вказаний недолік не є критичним. Проблема автономного живлення, на нашу думку, доцільно вирішувати, застосовуючи переведення вимірювальних модулів у стан мінімального енергоспоживання («засинання») між моментами вимірювання.

### Висновки

1. Виділено основні технологічні об'єкти зі значною довжиною, які мають найвищі ризики аварій зумовлені зміною факторів геодинамічної природи.

2. Наведено алгоритм реалізації концепції безпечної експлуатації потенційно небезпечних інженерних споруд значної довжини на прикладі магістральних трубопроводів.

3. Запропоновано класифікацію факторів оцінювання можливості виникнення аварій на потенційно небезпечних інженерних спорудах значної довжини.

4. Розглянуто підходи до моніторингу стану та процесів розвитку особливостей в ГДЗ, де знаходяться інженерні споруди значної довжини, та обґрунтовано доцільність реалізації автономних пристроїв моніторингу.

5. Подальші дослідження будуть спрямовані на аналіз та вдосконалення методів моніторингу ГДЗ та автономних пристроїв, що реалізують вказані методи.

1 Мазур И.И., Безопасность трубопроводных систем [Текст] / И.И.Мазур, О.М.Иванцов. – М.: ИЦ «ЕЛИМА», 2004. – 1104 с., ил. – ISBN 5-89674-011-5

2 Геодинаміка. Основи кінематичної геодезії [Текст]: монографія / С.П.Войтенко, І.Л.Учитель, В.Н.Ярошенко, Б.Б.Капочкін; Одеська держ. акад. буд. та архітек. – Одеса: Астропринт, 2007. – 264с. – ISBN 978-966-318-880-5.

3 Геофізичний моніторинг небезпечних геологічних процесів та екологічного стану середовища [Текст]: матеріали II Міжнародної наукової конференції, м. Київ, 8-10 жовтня 2001 року. – К.: ВПЦ “Київський університет”, 2001. – 74 с.

4 Касьянова Н.А., Современная аномальная геодинамика недр и ее влияние на объекты нефтегазового комплекса [Текст] / Н.А.Касьянова, Ю.О. Кузьмин. – М.: Геоинформмарк., 1996. – 56 с.

5 Кузьмин Ю.О., Современная аномальная геодинамика асейсмичных разломных зон [Электронный ресурс] / Ю.О.Кузьмин // Электронный научно-информационный журнал «Вестник отделения наук о Земле РАН». – 2002. – № 1(20). – 27 с.

Режим доступу: [http://www.scgis.ru/russian/scp1251/h\\_dggms/1-2002/scpub-13.pdf](http://www.scgis.ru/russian/scp1251/h_dggms/1-2002/scpub-13.pdf)

6 Кузьмин Ю.О. Оценка геодинамического риска объектов нефтегазового комплекса // Фундаментальный базис новых технологий нефтяной и газовой промышленности // Сб. под ред. А.Н. Дмитриевского. – М.: Наука, 2000. – С. 334-344.

*Стаття надійшла до редакційної колегії*

*13.04.11*

*Рекомендована до друку професором Івасівим В.М.*