

**НАУКОВІ ТА ПРАКТИЧНІ ПРОБЛЕМИ ВИРОБНИЦТВА  
ПРИЛАДІВ ТА СИСТЕМ**

УДК 624.953:004.03

**ВИМОГИ ДО РОЗРОБКИ ІНФОРМАЦІЙНО-ДІАГНОСТИЧНОГО  
КОМПЛЕКСУ МОНІТОРИНГУ РЕЗЕРВУАРІВ З ПАЛЬНИМ В УМОВАХ  
АНТАРКТИКИ**

<sup>1</sup>Бурау Н. І., <sup>1</sup>Жуковський Ю. Г., <sup>2</sup>Кузько О. В., <sup>1</sup>Цибульник С. О., <sup>1</sup>Шевчук Д. В.  
<sup>1</sup>Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»,  
м. Київ, Україна; <sup>2</sup>Національний антарктичний науковий центр, м. Київ, Україна

Сучасні проблеми зі збереження навколишнього середовища ставлять перед дослідниками й інженерами нові завдання, серед яких забезпечення безпечної експлуатації еколого-небезпечних об'єктів, зокрема резервуарів для зберігання пального, що знаходяться на антарктичних станціях. Це обумовлено складними кліматичними умовами, важкодоступністю та жорсткими вимогами до екологічної безпеки в Антарктиці.

Таким чином, існує проблема контролю технічного стану резервуару для зберігання пального. На даний момент для її вирішення якнайкраще підходять новітні інформаційно-діагностичні комплекси. Щоб забезпечити їх надійну роботу на всіх етапах життєвого циклу необхідно визначити вимоги до таких комплексів відповідно до існуючих законів та нормативно-технічних документів.

У роботах інших авторів або взагалі не встановлюються вимоги до систем діагностики, або вимоги, що були встановлені ними не відповідають складним умовам експлуатації в Антарктиці. Тому метою даної роботи є: 1) удосконалення класифікації для систем комплексного моніторингу; 2) встановлення вимог для інформаційно-діагностичних комплексів резервуарів з пальним, що експлуатуються на території Антарктики. Тому було проаналізовано та удосконалено нормативно-технічні документи щодо експлуатації резервуарів, контролю та діагностики будівель і споруд та вимог до систем моніторингу, що експлуатуються на території Антарктики. Досліджено та проаналізовано конструкцію резервуару для зберігання пального.

Для моніторингу та визначення поточного технічного стану резервуару з пальним запропоновано інформаційно-діагностичний комплекс, який за своєю структурою, функціональними можливостями та характеристики відповідає встановленим вимогам.

**Ключові слова:** інформаційно-діагностичний комплекс, технічний стан, резервуар для зберігання пального, безпечна експлуатація.

**Вступ**

В останні десятиріччя у багатьох розвинених країнах світу велику увагу приділено забезпеченню безпечної експлуатації складних інженерних споруд різного призначення, до яких відносяться такі відповідальні об'єкти, як: мости, гідротехнічні споруди, сховища небезпечних речовин, електростанції, об'єкти газо-нафто-транспортної галузі. Їхнє руйнування, спричинене закінченням терміну експлуатації, виникненням дефектів у процесі виготовлення, установки та експлуатації, зміною діючих навантажень і впливами природних збурюючих чинників, призводить до суттєвих економічних втрат, загибелі людей і забруднення навколишнього середовища.

Задача безпечної експлуатації складних інженерних споруд, зокрема резервуарів для зберігання пального, є особливо актуальною на території Антарктики. Це, в першу чергу, обумовлено складними кліматичними умовами в яких вони знаходяться, їх важкодоступністю та жорсткими вимогами до екологічної безпеки. Збільшення кількості аварійних ситуацій, які виникли в останні роки на станціях в Антарктиці, через порушення норм, правил і технічних вимог до експлуатації резервуарів [1, 2], підкреслює необхідність контролю технічного стану відповідальних об'єктів, що знаходяться на них.

Отже, існує проблема контролю технічного стану резервуару для зберігання пального, що знаходиться на території Антарктики. Для її вирішення необхідне застосування сучасних методів проведення моніторингу та новітніх наукових розробок в області техніки і обробки інформації. Наразі момент якнайкраще для цього підходять сучасні інформаційно-діагностичні комплекси, в яких поєднуються: безперервний моніторинг технічного стану об'єкту, можливість знаходження дефектів на ранніх стадіях їх розвитку, використання різних методів контролю та багатоканальність, яка дозволяє використовувати датчики, побудовані на різних фізичних принципах.

Щоб забезпечити надійну роботу інформаційно-діагностичного комплексу моніторингу та прогнозування технічного стану баку з паливом на всіх етапах життєвого циклу, необхідно визначити вимоги до таких систем відповідно до існуючих законів та нормативно-технічних документів.

Інші автори [3, 4] при розробці систем діагностики або взагалі не встановлюють вимог до них, або вимоги, що були встановлені ними, не відповідають складним умовам експлуатації в Антарктиці.

### **Постановка задачі**

Резервуар для зберігання палива (рис. 1, а), є одним з найбільш відповідальних об'єктів на українській антарктичній станції (УАС) Академік Вернадський. Про це свідчить те, що вся система забезпечення станції теплом і електроенергією побудована на використанні дизельного палива, а наявність великої кількості його запасів становить серйозну небезпеку для навколишнього середовища у разі їх витоку через порушення суцільності резервуару.

Загальну схему конструкції резервуару для зберігання палива на УАС Академік Вернадський зображено на рис. 1, б. Основні характеристики конструкції резервуару зображені в табл. 1.

Об'єкт контролю (резервуар) розташований в районі Антарктичного півострова у складних кліматичних умовах. Температура повітря там коливається від +15 до -35°C. Холодні повітряні маси, що скочуються з центральних районів, утворюючи стокові вітри, досягають біля узбережжя великих швидкостей (середня річна швидкість до 35 м/с), а при злитті з циклонічними повітряними потоками перетворюються в ураганні (до 50-60, а іноді і 90 м/с). Внаслідок переважання спадних потоків відносна вологість повітря біля узбережжя складає 65-95%. Оподи випадають в основному у вигляді снігу, їх

кількість за рік досягає 600-700 мм. У зв'язку із сильними вітрами і випаданням рясних снігів трапляються дуже часті завірюхи.

Таблиця 1. Основні характеристики конструкції резервуару

Місткість	200 [м <sup>3</sup> ]
Вага	24.2 [Т]
Висота резервуару	6.77 [м]
Висота внутрішньої стінки	5.96 [м]
Висота зовнішньої стінки	6.58 [м]
Внутрішній діаметр	6.63 [м]
Зовнішній діаметр	6.96 [м]
Тип (марка)	двостінний, зварний, листової збірки

Експлуатація резервуару відбувається в умовах жорстких вимог до екологічної безпеки об'єктів, що знаходяться на території Антарктики [5, 6]. Серед них умови договорів, які прийняла Україна, а саме Договір про Антарктику, який був ратифікований у 1992 році, що передбачає використання льодового континенту усіма народами і виключно для миру та наукових досліджень.

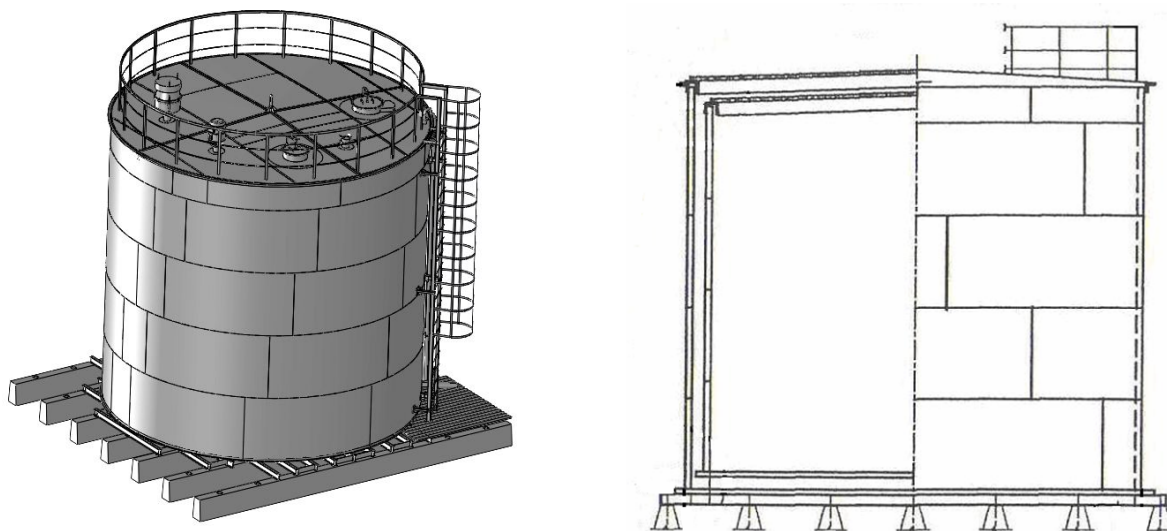


Рис. 1. Резервуар для зберігання дизельного палива, де: а) геометрична тривимірна модель; б) загальна схема конструкції

Оскільки Антарктика є надзвичайно вразливою екологічною системою, яка може зазнати згубного впливу від людської діяльності, низка країн підписали мадридський Протокол про охорону навколишнього середовища до Договору про Антарктику. Він оголошує Антарктику природним заповідником, континентом миру та науки, встановлює там всебічний природоохоронний режим і зобов'язує країни учасниці взяти на себе відповідальність за всеосяжну охорону

навколишнього середовища Антарктики та залежних від неї і пов'язаних з нею екосистем, а також визначає Антарктику як природний заповідник.

Враховуючи вказані вище складні умови експлуатації, вимоги до екологічної безпеки в Антарктиці та нормативно-технічні документи, резервуар для збереження пального на УАС є небезпечним об'єктом, тому для забезпечення безпечної експлуатації такого об'єкту необхідно контролювати його технічний стан за допомогою сучасних систем моніторингу.

Технічними нормами встановлюються наступні категорії небезпечних об'єктів, що оснащуються системами моніторингу [7]:

- об'єкти першої категорії, що займають ключові позиції в технологічному процесі та визначають його безпеку, раптова відмова яких може привести до техногенної аварії (вибуху, пожежі) і/або істотному зниженню техніко-економічних показників;
- об'єкти другої категорії, що займають другорядні позиції в технологічному процесі, раптова відмова яких може привести до зниження безпеки і техніко-економічних показників виробництва;
- об'єкти третьої категорії, вирішують допоміжні завдання.

Відповідно до технічних норм резервуар з паливом, що знаходиться на УАС Академік Вернадський, було віднесено до першої категорії небезпечних виробничих об'єктів.

Метою даної роботи є:

- а) удосконалення класифікації для систем комплексного моніторингу;
- б) встановлення вимог до інформаційно-діагностичних комплексів для резервуарів із паливом, що експлуатуються на території Антарктики.

### **Класифікація комплексних систем діагностики**

Діагностичний комплекс, або система – це упорядкована сукупність технічного обладнання, програмного забезпечення та персоналу (у тих випадках, коли система не є автоматичною), що контролюють технічний стан об'єкту діагностики. Завдяки своєму розширеному спектру можливостей діагностичні комплекси набули великого розповсюдження в найрізноманітніших сферах технічної діагностики.

Класифікація систем моніторингу (СМ) встановлюється на основі [7] за наступними удосконаленими критеріями:

1. За кількістю методів неруйнівного контролю (МНК), що використовуються:

- а. Комплексні системи, в яких використовують декілька МНК.
- б. Спеціалізовані системи, в яких використовують один метод неруйнівного контролю (наприклад, згідно [8 - 10]).

2. За типом експертної системи:

- а. Системи підтримки ухвалення рішень включають властивості діагностичних систем і видають рекомендації персоналу при виникненні аварійнонебезпечних ситуацій.

б. Діагностичні системи, що визначають технічний стан об'єкту і причини його зміни.

в. Системи індикації стану, що здійснюють тільки визначення технічного стану об'єкту (придатний/не придатний), без уточнень причини несправності.

3. За об'ємом несправностей, що виявляються:

а. Широкого класу, що виявляють несправності різних вузлів об'єкту.

б. Вузького класу, що визначають несправності одного вузла об'єкту контролю.

4. За можливістю визначення прогнозного стану:

а. Системи з функцією визначення прогнозного стану;

б. Системи, що не підтримують функцію визначення прогнозного стану.

5. За числом вимірних каналів системи:

а. Багатоканальні.

б. Одноканальні.

6. За способом опитування датчиків:

а. Універсальні (паралельно-послідовні).

б. Паралельні системи, що здійснюють одночасний вимір сигналів і їх обробку.

в. Послідовні системи, що здійснюють почерговий вимір сигналів і їх обробку (в основному переносні системи).

7. За архітектурою:

а. Розподілені, апаратура даних систем розміщується безпосередньо на об'єкті контролю.

б. Зосереджені, вся апаратура таких систем (за винятком датчиків) розміщується в одному місці, здебільшого віддаленому від об'єкту контролю.

8. За типом аналізатора сигналів, що використовується:

а. Векторні системи видають інформацію у формі масивів та проводять математичну обробку діагностичних сигналів.

б. Скалярні системи представляють вихідні дані у вигляді скалярних чисел (загальний рівень вібрації, температура і т. д.).

9. За типом індикатору технічного стану:

а. Комплексні, що включають функції багаторівневих індикаторів і також відображають дати пуску/зупинки певних елементів об'єкту, прогноз залишкового ресурсу та при необхідності формують сигнали про небезпеку.

б. Багаторівневі індикатори разом із відображенням технічного стану об'єкту також мають функції відображення стану і параметрів різних його частин.

в. Прості індикатори стану мають тільки функцію відображення даних.

10. За типом керування:

а. Автоматичні системи виконують усі функції моніторингу автоматично, без участі людини-оператора (як виключення людина може використовуватися як ланка керування для видачі керуючих сигналів).

б. Автоматизовані системи основні функції моніторингу виконують автоматично, а допоміжні - під керуванням людини-оператора.

в. Ручні, більшість функцій моніторингу в таких системах виконуються людиною-оператором.

Відповідно до класифікації СМ, яка представлена вище, можна визначити їх клас за наступним виразом [7]

$$K = \text{int}(1 + \log_{10} \prod_{i=1}^{10} R_i)$$

де  $K$  – комплексний показник, що визначає клас системи;

$R_i$  – значення відповідності за зазначеними критеріями СМ (1-10);

$\text{Int}$  – ціла частина числа.

Відповідно значення комплексного показника  $K$  визначає клас системи. Якщо  $K = 1$  система відноситься до першого класу, при  $K = 2$  система відноситься до другого класу і т.д.

Системи 1-го класу застосовуються для комплексного моніторингу об'єктів першої, другої і третьої категорій з можливістю автоматичного блокування небезпечних агрегатів і забезпечують безпечну ресурсозберігаючу експлуатацію устаткування за фактичним технічним станом.

Системи 2-го класу застосовуються для моніторингу об'єктів другої і третьої категорій з можливістю автоматичного блокування небезпечних агрегатів і забезпечують безпечну ресурсозберігаючу експлуатацію устаткування за фактичним технічним станом.

Системи 3-го класу застосовуються для моніторингу об'єктів третьої категорії за фактичним технічним станом.

Системи 4-го і нижчих класів мають допоміжний характер.

### **Загальні технічні вимоги до систем діагностики**

Відповідно до [7] об'єкти першої категорії небезпечності можна контролювати виключно системами діагностики першого класу. Тому при побудові інформаційно-діагностичного комплексу враховувалися вимоги до таких систем, які описані у вище зазначеному ГОСТі.

Розглянемо деякі основні загальні технічні вимоги до систем діагностики:

1. За нормативними вимогами [7] при розробці системи мають бути передбачені способи установки датчиків системи моніторингу, що не порушують умов безпечного та правильного функціонування устаткування в існуючому технологічному процесі.

2. Конструкція складових частин системи моніторингу повинна забезпечувати механічну міцність і дотримання норм на електричні параметри, встановлених в технічних умовах на систему моніторингу з урахуванням її експлуатації в заданих кліматичних районах і заданих вибухонебезпечних зонах.

3. Термін служби системи моніторингу має бути не менше 10 років. Має бути забезпечена можливість безперервної цілодобової роботи системи моніторингу протягом міжремонтного періоду. Допускається короткочасне вимкнення системи моніторингу для її обслуговування та ремонту, тривалість якого не по-

винна перевищувати інтервалу прогнозу небезпечного стану, відповідного заданому ризику пропуску відмови.

4. Підтвердження (перевірка) вірогідності помилки розпізнавання та ризику пропуску раптової відмови здійснюють спеціалізовані лабораторії при випробуваннях системи в умовах, близьких до експлуатаційних або в ході дослідної експлуатації у виробничих умовах.

5. Система моніторингу повинна автоматично визначати та прогнозувати несправність контрольованого об'єкту і видавати рекомендації персоналу щодо його дій.

6. Система моніторингу повинна автоматично архівувати результати вимірів і відображати графіки зміни параметрів технічного стану в часі (тренди).

7. Система моніторингу повинна зберігати тренди і сигнали при появі встановлених подій (неприпустимого стану контрольованого об'єкту).

8. Система моніторингу повинна мати наступні форми представлення результуючої інформації :

- графічний інтерфейс;
- звукове попередження;
- протоколи звітів із можливістю друку на принтері.

9. Система моніторингу повинна відображати одночасно мінімум два тренди будь-яких вибраних із числа контрольованих параметрів з наступними рекомендованими інтервалами часу для різних періодів моніторингу (звернення оператора):

- для періоду 12 години інтервал складає 1,5 хвилини;
- для періоду 4 доби години інтервал складає 12 хвилин;
- для періоду 40 діб інтервал складає 2 години;
- для періоду 1 рік інтервал складає 1 добу;
- для періоду 9 років інтервал складає 7 діб.

### **Інформаційно-діагностичний комплекс для резервуару з паливом**

Для моніторингу та визначення поточного технічного стану резервуару з паливом на УАС Академік Вернадський запропоновано інформаційно-діагностичний комплекс для моніторингу та прогнозування технічного стану інженерно-будівельних споруд (рис. 2), який за своєю структурою, функціональними можливостями та характеристиками відповідає встановленим вище вимогам до систем першого класу [11].

Даний комплекс призначений для функціонування в режимі реального часу, він стаціонарний та автоматичний, має сучасне програмне забезпечення і гнучку структуру. Основний принцип його роботи полягає у тому, що блоки датчиків (БА, БТ, БІ та газоаналізатор) вимірюють поточний стан та реакції об'єкту контролю на дії зовнішніх збурень. Фільтр на каналах з акселерометрами використовується, щоб уникнути ефекту накладання частот, при дискретизації сигналів. Модуль АЦП, що має вбудований мікропроцесор, перетворює виміряні сигнали у цифровий вигляд та подає їх до абонентської станції бездротового

зв'язку, яка, в свою чергу, передає отримані дані до базової станції, що підключена до блоку запису.

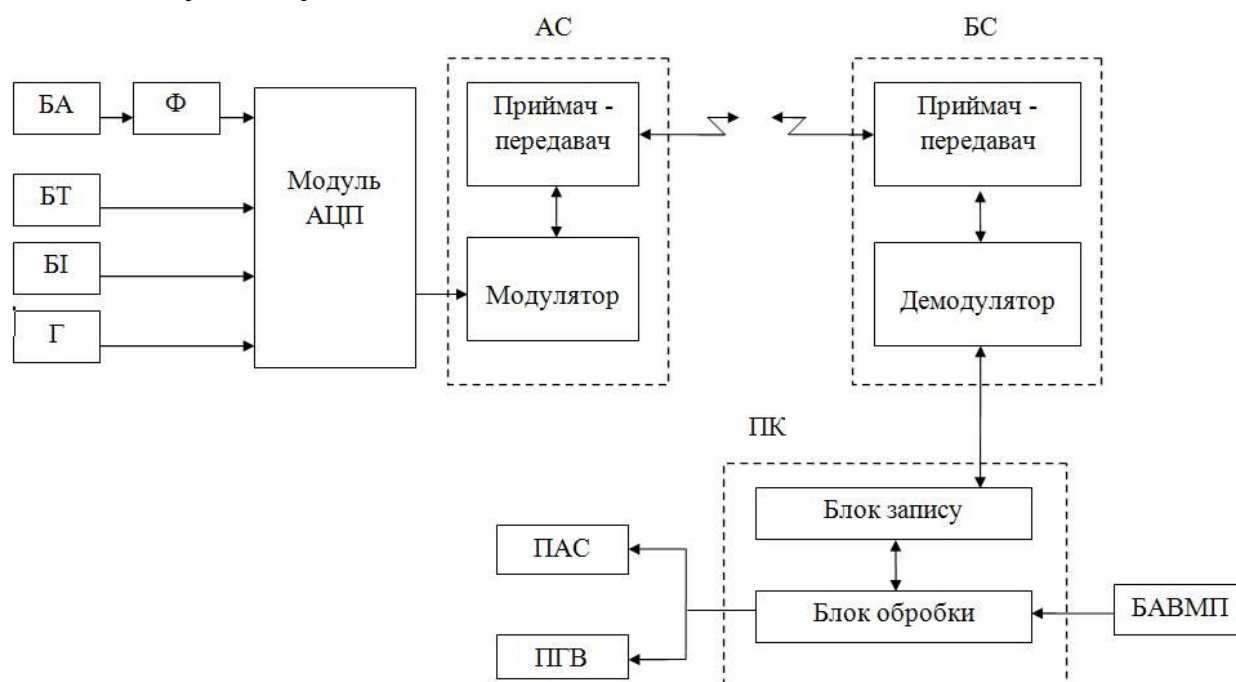


Рис. 2. Загальна структурна схема інформаційно-діагностичного комплексу для моніторингу і прогнозування технічного стану інженерно-будівельних споруд, де: БА – блок акселерометрів; Т – блок тензодатчиків; І – блок інклінометрів; Г – газоаналізатор; АС – абонентська станція; БС – базова станція; ПГВ – пристрій графічного відображення; БАВМП – блок автоматизованого визначення метеорологічних параметрів; ПАС – пристрій аварійної сигналізації; Модуль АЦП – модуль аналогово-цифрового перетворення; ПК – персональний комп'ютер

У блоці обробки виконується кінцева обробка діагностичних сигналів та встановлюються залежності між отриманими даними про дії збурень, що надходять від блоку автоматизованого визначення метеорологічних параметрів, і зміною в параметрах технічного стану об'єкту контролю. Основна інформація про стан резервуару виводиться на пристрій графічного відображення. Пристрій аварійної сигналізації необхідний для попередження персоналу про небезпечний технічний стан об'єкту контролю.

Інформаційно-діагностичний комплекс має універсальний характер і може використовуватися на різноманітних інженерно-будівельних спорудах, включаючи споруди першого класу небезпечності.

## Висновки

При аналізі норм та вимог до інформаційно-діагностичних комплексів та моніторингу небезпечних об'єктів було отримано такі результати:

- встановлено, що для безпечної експлуатації еколого-небезпечних об'єктів на них в обов'язковому порядку потрібно встановлювати автоматизовані систе-



ми діагностики;

- визначено класифікацію комплексних систем діагностики;
- встановлено загальні технічні вимоги до інформаційно-діагностичних комплексів для контролю технічного стану резервуару з пальним, що знаходиться на УАС Академік Вернадський;
- розроблено інформаційно-діагностичний комплекс для моніторингу та прогнозування технічного стану інженерно-будівельних споруд, який відповідає встановленим вимогам до систем першого класу.

Подальші дослідження інформаційно-діагностичного комплексу мають бути спрямованими на визначення технічних характеристик каналів зв'язку та системи в цілому. Також планується розробка та дослідження макету вимірювальних каналів системи.

### **Література**

1. РД 34.21.526-95 Типовая инструкция по эксплуатации металлических резервуаров для хранения жидкого топлива и горячей воды. Строительные конструкции [Текст]. – Введ. 01.09.1995. – Утверждено Департаментом науки и техники РАО "ЕЭСРоссии" 01.07.94 г.
2. РД 34.23.601-96 Рекомендации по ремонту и безопасной эксплуатации металлических и железобетонных резервуаров [Текст]. – Введ. 01.07.1998. – Утверждено Департаментом науки и техники РАО "ЕЭСРоссии" 15.07.96 г.
3. Севбо В. М. Многоканальная распределенная система синхронного сбора данных «жесткого» реального времени, построенная на основе Ethernet технологий / В. М. Севбо, А. И. Орлов, А. А. Лошаков // Судовое оборудование. – 2007. – № 3. – С. 40 – 45.
4. Харебов В. Г. Система комплексного диагностического мониторинга опасных производственных объектов / В. Г. Харебов, Ю. П. Бородин, В. А. Шапорев // Нефтегазовое дело. – 2004. – № 5.
5. Мадридський протокол «про охорону навколишнього середовища до Договору про Антарктику від 14 червня 1998р. (про приєднання до Протоколу України, Закон № 2284 – III від 22.02.2001)
6. Fuel Storage and Handling. Antarctic Treaty Consultative Meeting (ATCM-XXVI). Resolution XXVIII – 3. 2005
7. ГОСТ Р 53564 – 2009 Контроль состояния и диагностика машин. Требования к системам мониторинга [Текст]. – Введ. 07.24.2010. – М.: Стандартинформ, 2010. – 30 с.
8. Обзор методов неразрушающего контроля прочности конструкций [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://www.gemobud.com/fileadmin/user\\_upload/Obzor\\_metodov.pdf](http://www.gemobud.com/fileadmin/user_upload/Obzor_metodov.pdf)
9. Методы неразрушающего контроля [Електронний ресурс]. – Режим доступа: <http://www.kipinfo.ru/info/stati/?id=51>
10. Сударикова Е. В. Неразрушающий контроль в производстве: учебное пособие. 1-я часть; ГУАП. – СПб.: 2007. – 112 с.
11. Пат. № 73310 Україна, МПК G01 M 7/00. Інформаційно-діагностичний комплекс моніторингу і прогнозування технічного стану інженерно-будівельних споруд / Н. І. Бурау, О. В. Кузько, Ю. Г. Жуковський, Д. В. Шевчук, С. О. Цибульник, Заявник і патентовласник НТУУ «КПІ». – заявка № u 2011 15682, опубліковано 25.09.2012, Бюл. № 18. – 7с.:іл..

*Надійшла до редакції  
06 березня 2013 року*

© Бурау Н. І., Жуковський Ю. Г., Кузько О. В., Цибульник С. О., Шевчук Д. В., 2013