

Рис. 4. Експериментальні результати дослідження олії мигдального горіха

Fig. 4. Experimental results research of oil of almond

Висновки. В результаті експериментальних досліджень отримано індивідуальні електрофізичні параметри олій ефірнооїльних рослин, що мають:

- Теоретичне значення. Значення складових комплексної провідності олій у електромагнітному полі різної частоти залежить від хімічної природи ефірнооїльної рослини. Тобто за допомогою вимірювання імітансу багатокомпонентної рідини досягаються селективні результати щодо його складу.

- Практичне застосування. Це дає можливість удосконалити швидкі методи ідентифікацій натураль-

них олій (визначення виду рослини за всіх можливих фальсифікацій) та контролю їх якості.

Це дослідження дало змогу створити атлас залежностей складу ефірних олій від їхніх електрофізичних параметрів. Це дасть змогу використовувати отримані частотні залежності електричних параметрів ефірних олій для вдосконалення (автоматизації) процесу сертифікаційних досліджень і контролю у торговельних мережах та на митниці.

1. Походило Є. В. Імітансний контроль якості: монографія / Є. В. Походило, П. Г. Столярчук. – Львів: Львівська політехніка, 2012. – 164 с. 2. Міхалева М. С. Контроль безпеки харчових продуктів за спектральними електричними характеристиками / М. С. Міхалева // Технологічний аудит та резерви виробництва. – 2014. – № 1/4(15). – С. 4–8. 3. Міхалева М. С. Визначення та контроль концентрації складника багатокомпонентної рідини за одним електричним параметром / М. С. Міхалева // Технологічний аудит та резерви виробництва. – 2014. – № 2/1(16). – С. 41–45. 4. Stolyarchuk P. Electric Sensors for Express – Method Checking of Liquid Quality Level Monitoring / P. Stolyarchuk, V. Yatsuk, Y. Pokhodylo, M. Mikhalieva, T. Boyko, O. Basalkevych // Sensors & Transducers Journal. – 2010. – № 2, Vol. 8, Special Issue. – P. 88–98.

УДК 504.75:681.2.543

МОДЕЛЮВАННЯ ТА ЯКІСТЬ МОНІТОРИНГУ ДІАГНОСТИЧНИХ СИСТЕМ

© Чабан Олеся¹, Юзевич Лариса², 2015

¹Львівський національний медичний університет імені Данила Галицького, кафедра медичної інформатики, вул. Пекарська, 69, 79010, Львів, Україна

²Національний університет “Львівська політехніка”, кафедра метрології, стандартизації та сертифікації, вул. С. Бандери, 12, 79013, Львів, Україна

Розроблено рекомендації щодо поліпшення якості математичних моделей моніторингу складних об'єктів техніки та медицини з низьким рівнем динаміки процесів, що характеризуються особливостями раннього виявлення кризових (передаварійних) ситуацій.

Ключові слова: моніторинг, математична модель, якість, складний об'єкт, діагностична система, рівень динаміки, техніка.

Разработаны рекомендации относительно повышения качества математических моделей мониторинга сложных объектов техники и медицины с низким уровнем динамики процессов, которые характеризуются особенностями раннего выявления кризисных (предаварийных) ситуаций.

Ключевые слова: мониторинг, математическая модель, качество, сложный объект, диагностическая система, уровень динамики, техника.

The example of improvement of the mathematical model of monitoring of difficult objects of technique and medicine with the low level of dynamics of processes is examined.

The article of researches is normative documents, which should be expedient to specify and perfect on the basis of their formation, got as a result of analysis of results, mathematical models of monitoring of difficult objects of technique, medicine got with a help with the low level of dynamics of processes.

An aim of the put article is an evaluation of quality of them proved mathematical model of monitoring of difficult objects of technique, medicine with the low level of dynamics of processes.

As an example, the diagnostic system of the corrosive monitoring of pipelines (SCMP) is examined, the methodologies described and regulated by a state standard are fixed in basis of functioning of that. Facilities of SCMP are diagnose the stress corrosive spalling of pipelines, that is initiated and develops as defects on the external surface of pipe at using of isolating coverage and cathode defence for simultaneous influence of the mechanical loading and corrosive-active environment.

A corrosive environment is designed by an aquasystem with the different value of pH-value.

The criterion of damage of sheeting the methods of measuring of protective and polarization potentials is a jection of electric potential, that is compared to the value, set corresponding normative document.

It is suggested to use methodology of control of constituents for slushing coverage on the stage of making of steel pipes with coverage on the size of regional corner of moistening. Coverages can be metallic, dielectric. In particular, the three-stratified polyethylene coverage is used in the last time. On the size of regional corner of moistening it is possible to estimate adhesion of coverage, in particular, work of adhesion and energy of adhesive bonds.

The criterion of adhesion strength for coverage (metallic or dielectric), that is expressed through the critical values of power descriptions of interface layer on the border of metal of pipe with coverage is introduced.

The methods of scientific researches are constantly developed and improved. Therefore in course of time standards need additions, id est bringing of new more actual information. Touches such type of addition integral criterion of evaluation of biocorrosive aggressiveness of soils, that takes into account exceptelectro-resistance also a quantity most corrosive dangerous groups of microorganisms and elements of chemical composition of soils.

Possible penetration of oxygen, water and other substances is through sheeting. As a result there is a hasp of passive tape with formation of local cells of corrosion – pitting. Pitting of transformed in microcrack, and on the finishing stage one of microcracks initiates distribution of main crack. Procedure of calculation of durability and longevity of pipeline is offered at presence of defects as a cavity there is pitting in the top of that.

Methodologies of calculation of durability of steel pipes at presence of defects are complemented by the criteria of durability, that in the models of SCMP was not examined before.

The first criteria represents connection of threshold value of coefficient of intensity of tensions of K_{ISCC} with work off lowage in a calculation on unit of the accrued surface at distribution of crack of P_{PL} and overstrain of anodic reaction Z of corrosive dissolution. The parameter of P_{PL} is included in the known formula (criterion of durability) of Griffiths-Orovan, that it is also suggested to be used. The criterion of Griffiths-Orovan binds the limit of fluidity (to durability) of metal to length of crack, by the Young's module and by the Poisson's ratio of material.

The system of mathematical correlations of SCMP is suggested to complement correlation for the closeness of current of i_a in the top of pitting, that is expressed through a corner in the top of pitting, conductivity of electrolyte, dependency upon resistance change of potential between anodic and cathode parts. This correlation is set forth as a criterion of corrosive firmness of pitting.

The model of SCMP is complemented by criterion correlation for determination of speed of remaining corrosion of metal (id est closeness of I_k of corrosive current) in the defect of isolating coverage, polarization potential and potential of corrosion of metal of pipeline are included in that.

The new entered criteria of durability and corrosive firmness complement, specify and perfect SCMP and can be used for control of corrosive process and development of recommendations of slushing defence. With their help optimization of terms of defence of elements of constructions of metallic underground pipelines can be conducted.

The compatible use of the new entered criteria allows in detailen ough from positions of electrochemistry, physics of superficial processes and mechanics of destruction to study the mechanisms of distribution of corrosive cracks in main pipelines that are in aggressive environments.

Monitoring quality is characterized by quality of measuring and recreation of information, in particular: by exactness, comparativeness, authenticity, operationability, stability of estimations of parameters, that is included in the new entered criteria. Recommendations in relation to upgrading of mathematical models of monitoring of difficult objects of technique and medicine with the low level of dynamics of processes touch protective potentials, them uncertainty and gradients.

An algorithm that is base on the use of the new entered criterion correlations and allows to optimize oscillation of protective and polarization potentials in time is offered in the system of the corrosive monitoring of underground pipelines, that it is necessary for the correct evaluation of corrosive activity of soil and speed of remaining corrosion of metal of pipeline.

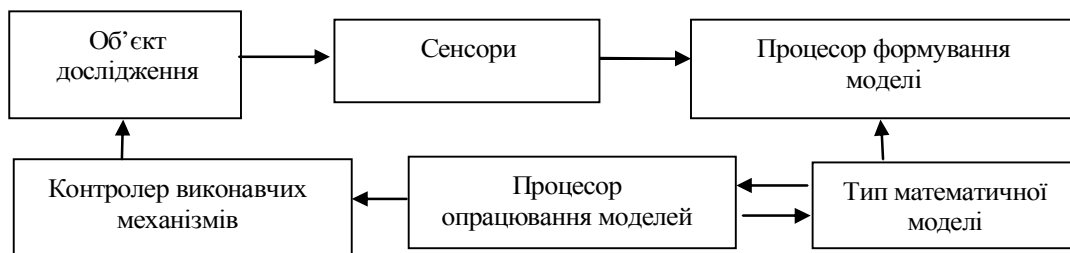
Corresponding results give an opportunity to forecast the change of the corrosive state of metal of pipeline in course of time and to expect the resource of capacity of local area and all pipeline on the whole. The indicated innovations will help to perfect normative documents, in particular, standards that touch anticorrosion defence.

Key words: monitoring, mathematical model, quality, difficult object, diagnostic system, level of dynamics, technician.

Аналіз сучасних тенденцій в галузі забезпечення надійності діагностичних систем дав змогу виявити недоліки, пов'язані з недостатньою актуальністю відповідних нормативно-технічних документів (НТД). Якщо впровадження НТД на етапі підготовчих робіт

доцільне, то надалі це часто призводить до невиправданих затрат, зокрема, в процесі моніторингу за допомогою діагностичних систем.

Розглянемо схему діагностування об'єкта техніки чи медицини (див. рисунок) [1].



Структурна схема – концептуальна модель інформаційної технології для діагностування об'єкта

A flow diagram is a conceptual model of information technology for the diagnosing of object

Вибір конкретної моделі діагностування станів об'єкта залежить від інформативності окремих статистичних показників реальних об'єктів керування (ОК) і потребує проблемної адаптації алгоритмів стосовно реальних ОК [1].

Діагностування, тобто процес розпізнавання типу, є одним з найбільш інтелектуальних і одночасно складних видів діяльності [2–4]. У трубопроводному транспорті з не менш складними методами технічної діагностики пов'язаний електрохімічний захист металевих конструкцій від корозії. Але його функції порушують корозійне зношування і появу тріщин корозійного розтріскування під напругою (КРН) на зовнішній поверхні напружено-деформованих підземних сталевих трубопроводів в умовах катодного захисту.

Постановка проблеми. Проблема отримання якісної інформації про стан елемента конструкції є

важливою для технічної діагностики. У зв'язку з цим необхідно використовувати сучасні методи моніторингу в поєднанні з інформаційними технологіями (ІТ) і комп'ютерним моделюванням.

Зв'язок проблеми з науковими та практичними завданнями:

Практичне завдання: доцільно доповнити систему чинної нормативної документації уточненою інформацією про індекси якості інформації, отриманої в процесі моніторингу об'єкта. Зокрема, це індекси процесу, результату, інфраструктури і структур.

Наукове завдання. З метою удосконалення наявної науково-технічної документації необхідно розробляти нові методики і засоби моніторингу. Розуміння відповідних операцій допоможе, зокрема, задля оптимізації катодного захисту правильно застосовувати методи ідентифікації, діагностики і прогнозування корозійного розтріскування під напругою (КРН), а

також стрес-корозійного розтріскування (СКР) металу труби на ранніх стадіях.

Аналіз останніх досліджень і публікацій з проблеми. У [3, 4] розглянуто специфіку моделювання якості послуг за допомогою функціонала якості. Для удосконалення процедури діагностування технологічних схем і покращення послуг, наданих за допомогою засобів інформаційно-вимірювальної техніки, вводиться діагностична вага ознак та діагностична цінність обстеження, що сприятиме поліпшенню якості досліджень [4].

У [1] викладена методологія діагностування станів складних промислових об'єктів, яку можна широко використовувати під час створення програмно-апаратних засобів та спеціальних процесів на низових рівнях комп'ютерних систем широкого класу об'єктів управління, зокрема для нафтогазової, атомної, енергетичної промисловостей тощо.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми, котрих стосується стаття. Поки що не розроблено достатньо обґрунтованих методик, які би комплексно прогнозували розвиток технології моделювання на основі комбінації різних типів моделей джерел інформації та приводили до створення моделей діагностування складних технологічних об'єктів з низьким рівнем динаміки процесів, таких, наприклад, як об'єкти нафтогазового комплексу, що характеризуються особливостями раннього виявлення передварійних ситуацій.

Об'єкт досліджень – математичні моделі моніторингу складних об'єктів техніки, з низьким рівнем динаміки процесів.

Предмет досліджень – нормативні документи, які доцільно уточнювати та удосконалювати на основі інформації, отриманої в результаті аналізу результатів, одержаних за допомогою математичних моделей моніторингу складних об'єктів, техніки з низьким рівнем динаміки процесів.

Мета дослідження – оцінювання якості математичної моделі моніторингу складних об'єктів техніки, з низьким рівнем динаміки процесів.

Основна частина. Як приклад розглянемо розроблену в лабораторії корозії ІЕЗ ім. Є. О. Патона НАНУ систему корозійного моніторингу трубопроводів (СКМТ), в основу функціонування якої покладено методики, детально описані та

регламентовані державним стандартом [5]. Стрес-корозійне розтріскування трубопроводів ініціюється і розвивається на зовнішній поверхні труби у разі використання ізоляційного покриття і катодного захисту через одночасний вплив механічного навантаження і корозійноактивного середовища [6]. Корозійне середовище моделюємо водним розчином електроліту з різним значенням водневого показника рН.

Критерієм пошкодження захисного покриття методами вимірювання захисного та поляризаційного потенціалів є відхилення потенціалу, що зумовлено відповідними нормативними документами [6]. Оцінка корозійної активності ґрунту здійснюється за допомогою методу лінійної поляризації (метод поляризаційного опору) в місцях пошкодження захисного покриття, на різних глибинах залягання трубопроводу $H1$, $H2$ і $H3$ залежно від діаметра труби D [6].

У програмне забезпечення СКМТ закладено програму автоматичного розрахунку корозійної активності ґрунту I_G за формулою [6]:

$$I_G = 2BAI / (S \Delta E), \text{ мм/рік}, \quad (1)$$

де B – стала методу (для трубних сталей становить 332); S – площа поверхні одного електрода датчика швидкості корозії (ШК), см^2 ; ΔI – виміряне значення струму, A ; ΔE – різниця потенціалів, що задається між робочими електродами датчика (дорівнює 10 мВ).

Межа допустимого значення основної абсолютної похибки СКМТ під час вимірювання поляризаційних, захисних потенціалів і градієнтів потенціалів не перевищує [6]

$$\Delta E = (1 + 0,01E), \text{ мВ}, \quad (2)$$

де E – дійсне значення вимірюваного потенціалу (1).

У праці [7] запропоновано методику контролю складових для антикорозійних покриттів на стадії виготовлення сталевих труб з покриттям за величиною крайового кута змочування. Покриття можуть бути металеві, діелектричні. Зокрема, останнім часом використовується тришарове поліетиленове покриття [8]. За величиною крайового кута змочування можна оцінити адгезію покриття, зокрема, роботу адгезії A_{Ad} та енергію адгезійних зв'язків W_{Ad} [9]:

$$A_{Ad} = s_{h+} + s_{h-} - s_m, \quad W_{Ad} = W_+ + W_- - W_m, \quad (3)$$

де s_{h+} , s_{h-} , W_+ , W_- – поверхневі натяги та поверхневі енергії тіл (+) і (-) що контактують відповідно; s_m , W_m – міжфазні натяг та енергія.

Уведемо критерій адгезійної міцності для покриття (металевого чи діелектричного):

$$A_{Ad} - A_{Ad*} \leq 0, \quad W_{Ad} - W_{Ad*} \leq 0, \quad (4)$$

де A_{Ad*} , W_{Ad*} – критичні значення енергетичних характеристик міжфазного шару на границі металу труби з покриттям. Параметри A_{Ad*} , W_{Ad*} – доцільно вважати нормативними величинами і ввести у відповідні стандарти.

Варіант наближеного визначення енергетичних параметрів адгезії A_{Ad} , W_{Ad} з використанням характеристик матеріалів, що взаємодіють, товщини покриття представлений у [10]. У праці [9] подано точнішу й математично обґрунтовану методику, яку можна використати для визначення A_{Ad} , W_{Ad} .

Критерії агресивності ґрунту з урахуванням сукупності мікробіологічних і фізико-хімічних чинників наведено в ДСТУ Б В.2.5-30:2006 [11] і ДСТУ 3291-95 [12].

Методи наукових досліджень постійно розвиваються та удосконалюються. Тому з часом стандарти потребують доповнень, тобто внесення нової актуальнішої інформації. Такого типу доповнення стосується інтегрального критерію оцінювання біокорозійної агресивності ґрунтів K_A , який враховує крім електроопору, також чисельність корозійно найнебезпечніших груп мікроорганізмів і елементи хімічного складу ґрунтів [13]:

$$K_A = \lg(T_{CBБ} T_{ТБ} F e_{заг} S_{заг} / r), \quad (5)$$

де $T_{CBБ}$ – кількість сульфатвідновлювальних бактерій в 1 г (грамі) ґрунту; $T_{ТБ}$ – кількість тіонових бактерій в 1 г ґрунту; $F e_{заг}$ – вміст загального заліза в ґрунті, %; $S_{заг}$ – вміст загальної сірки в ґрунті, %; r – питомий електроопір ґрунту, Ом·м.

Можливе проникнення кисню, води та інших речовин через захисне покриття. У результаті відбувається пробій пасивної плівки з утворенням локальних осередків корозії – пітингів. Пітинги трансформуються в мікротріщини, а на завершальній стадії одна з мікротріщин ініціює поширення магістральної тріщини. Для аналізу стадії поширення магістральної тріщини доцільно використати два основні стандарти ДСТУ 4219-2003 [5] і ДСТУ Н Б В.2.3-21:2008 [14]. Запропоновано процедуру розрахунку міцності та довговічності трубопроводу за наявності дефектів [14]. Розглядають основні чинники пошкоджуваності, що погіршують із часом стан конструкції: деградація механічних властивостей

матеріалу; корозійне ураження; стрес-корозія; втомне циклічне навантаження [14]. За результатами розрахунків на статичну міцність та довговічність запропоновано систему прийняття рішень, що дає можливість здійснити поділ дефектів за ступенем небезпеки, планувати терміни та обсяги ремонтних і відновлювальних робіт тощо [14].

Методики розрахунку міцності сталевих труб за наявності дефектів (стандарт [14]) доцільно доповнити критеріями праць [15, 16].

Перший з критеріїв відображає зв'язок порогового значення коефіцієнта інтенсивності напружень K_{ISCC} з роботою пластичної деформації у розрахунку на одиницю новоствореної поверхні в разі поширення тріщини P_{PL} і з перенапруженням анодної реакції з корозійного розчинення [15]:

$$K_{ISCC} = \sqrt{\frac{E}{1-n^2} \cdot \left(P_{PL} - z_{si} F r d \frac{z}{M} \right)}, \quad (6)$$

де K_{ISCC} – мінімальне значення коефіцієнта інтенсивності напружень K_I , що відповідає початку поширення корозійної тріщини, Па· $\sqrt{м}$; r – густина матеріалу, кг/м³; E – модуль Юнга, Па; n – коефіцієнт Пуассона; z_{si} – формальний заряд сольватованих іонів; $F = 96500$ Кл/моль – стала Фарадея; δ – висота фронту мікротріщини, що насувається, м; M – молекулярна маса металу, г/моль; z – перенапруження, В. K_{ISCC} – характеризує допустимі напруження в конструкції, що містить тріщиноподібні дефекти певних розмірів. Якщо значення коефіцієнта інтенсивності напружень менші за K_{ISCC} , докритичний ріст тріщин відсутній.

Параметр P_{PL} входить у відому формулу (критерій міцності) Гріфітса–Орована [16]:

$$s_* = \sqrt{\frac{4E \cdot P_{PL}}{p \cdot L(1-n^2)}}, \quad s_* = \sqrt{\frac{4E \cdot P_{PL}}{p \cdot L}}, \quad (7)$$

де перша формула (7) записана для плоскої деформації, друга – для плоского напруженого стану; s_* – критичне напруження ($s_* = s_T$, s_T – границя текучості або $s_* = s_e$, s_e – границя міцності); L – довжина тріщини; $\pi = 3,14159$.

Попередні формули (4)–(7) доповнимо співвідношенням для густини струму i_a у вершині пітинга [17]:

$$i_a - i_{a*} \leq 0, \quad i_a = \frac{a \cdot c \cdot \Delta y_{ak}}{d \cdot \ln((h+c)/d)}, \quad (8)$$

де a – кут у вершині пітинга; c – електропровідність електроліту; Δy_{ak} – омична зміна потенціалу між анодною і катодною частинами; h – глибина каверни, у

вершині якої міститься пітинг; c – глибина пітинга. Співвідношення (8) записано для вершини пітинга, розміщеного у вершині каверни. Загальна відстань від вершини пітинга до поверхні металу $h+c$. Перше співвідношення (8) вважаємо критерієм корозійної стійкості пітинга, а i_a^* – критичним значенням струму, яке для різних марок сталі варто вважати нормативним і увести у відповідні стандарти [5, 14].

В основі експериментальних досліджень засобами СКМТ – критеріальне співвідношення для визначення швидкості залишкової корозії металу (тобто густини I_k корозійного струму) в дефекті ізоляційного покриття [6]:

$$I_k = i_a \cdot 10^V; \quad V = (E_{pol} - E_{cor}) / b_{at}, \quad (9)$$

де i_a – швидкість корозії металу (8) за відсутності зовнішньої захисної поляризації, A/m^2 ; E_{pol} – поляризаційний потенціал у точці вимірювання, В; E_{cor} – потенціал корозії металу трубопроводу, який залежить від зміни електричного потенціалу $\Delta\Phi_m$ в межах подвійного шару, В; b_{at} – анодний тафелівський нахил поляризаційної кривої, В.

Критерії (4)–(9) разом з уведеними діагностичною вагою ознак і діагностичною цінністю обстежень [4] доповнюють, уточнюють та удосконалюють СКМТ [5, 6] і можуть використовуватись для контролю корозійного процесу та розроблення рекомендацій антикорозійного захисту. З їх допомогою може здійснюватись оптимізація умов захисту елементів конструкцій нафтогазової промисловості.

Сумісне використання критеріїв (4)–(9) дає змогу доволі детально з позицій електрохімії (Z , i_a , I_k), фізики поверхневих процесів (P_{PL} , A_{Ad} , W_{Ad}) і механіки руйнування (K_{ISCC}) вивчати механізми поширення корозійних тріщин у магістральних трубопроводах, що містяться в агресивних середовищах.

Якість моніторингу характеризується якістю вимірювань і відтворенням інформації, зокрема: точністю, порівняльністю, достовірністю, оперативністю, стабільністю оцінок параметрів, які входять в удосконалену критеріями (4)–(9), а також діагностичними вагою ознак і цінністю обстежень СКМТ.

При цьому вимірюють: різницю потенціалів між трубопроводом і землею, стаціонарний потенціал трубопроводів в умовах наявності блукаючих струмів, поляризаційний потенціал трубопроводу в зоні дії засобів електрозахисту, загальний захисний струм електрохімічного захисту, напругу на виході установок

електрохімічного захисту, питомий опір ґрунту, опір анодного заземлення за катодного захисту тощо.

Рекомендації щодо поліпшення якості математичних моделей моніторингу складних об'єктів техніки з низьким рівнем динаміки процесів стосуються захисних потенціалів, їх непевностей та градієнтів. Береться до уваги те, що параметри зовнішніх впливів та внутрішніх корозійних процесів змінюються повільно. Між ними доцільно встановлювати кореляційні зв'язки.

Висновки. Розроблено рекомендації щодо поліпшення якості математичних моделей моніторингу складних об'єктів техніки з низьким рівнем динаміки процесів, що характеризуються особливостями раннього виявлення кризових (передавальних) ситуацій.

Запропоновано в системі корозійного моніторингу підземних трубопроводів алгоритм, який ґрунтується на використанні критеріальних співвідношень (4)–(9) і дає змогу оптимізувати коливання захисного та поляризаційного потенціалів у часі, що необхідно для коректного оцінювання корозійної активності ґрунту та швидкості залишкової корозії металу трубопроводу. Відповідні результати дають можливість прогнозувати зміну корозійного стану металу трубопроводу з часом та розраховувати ресурс працездатності локальної ділянки і всього трубопроводу загалом. Вказані нововведення допоможуть удосконалити нормативні документи, зокрема, стандарти, які стосуються протикорозійного захисту.

1. Ширмовська Н. Г. *Моделювання процесів діагностування станів складних об'єктів управління комп'ютерних систем* / Н. Г. Ширмовська, Я. М. Николайчук // *Вісник Національного університету "Львівська політехніка"*. Комп'ютерні системи та мережі. – 2010. – № 688. – С. 219–224.
2. Гнатівська Ю. О. *Розробка медичних діагностичних систем реального часу* / Ю. О. Гнатівська // *Наукові праці [Чорноморського державного університету імені Петра Могили]. Сер.: Комп'ютерні технології*. – 2008. – Т. 90, Вип. 77. – С. 130–136.
3. Чабан О. П. *Формулювання засад для ймовірного моделювання та оцінювання якості медичних послуг* / О. П. Чабан // *Technology audit and production reserves*. – 2014. – № 5/1(19). – С. 51–55.
4. Чабан О. П. *Математичне моделювання діагностичних ознак для забезпечення системи функціонування*

- медичних послуг / О. П. Чабан, В. М. Юзевич // Системи обробки інформації. – 2015. – Вип. 2. – С. 108–113. 5. ДСТУ 4219-2003. Трубопроводи сталеві магістральні. Загальні вимоги до захисту від корозії. 6. Поляков С. Г. Система корозійного моніторингу трубопроводів / С. Г. Поляков, А. В. Клименко, С. Ю. Коваленко // Наука та інновації. – 2010. – Т. 6, № 5. – С. 25–28. 7. Плугин А. А. Методика контролю качества антикоррозионных покрытий при их изготовлении по величине краевого угла смачивания / А. А. Плугин, И. В. Подтележникова, О. С. Герасименко // Збірник наукових праць УкрДАЗТ. – 2011. – Вип. 127. – С. 159–164. 8. ТУ У 27.2-00191135-0225:2011. Трубы стальные электросварные прямошовные экспандированные с трехслойным наружным антикоррозионным полиэтиленовым покрытием для магистральных нефтепроводов. Технические условия. – 37 с. 9. Джала Р. М. Модель межі металів і метод малого параметра в задачах теорії адгезії / Р. М. Джала, А. В. Каплун, В. Б. Валяшек, В. М. Юзевич // Відбір і обробка інформації. – 2014. – № 4 (117). – С. 20–27. 10. Костюк Г. И. Адгезионные характеристики контактирующих материалов с покрытиями для пар трения / Г. И. Костюк, В. Н. Павленко, О. М. Мелкозерова // Вестник Национального технического университета “ХПИ” [Текст]. Технологии в машиностроении / отв. ред. Ю. В. Тимофеев. – 2011. – Вып. 40. – С. 81–91. 11. ДСТУ Б В.2.5-30:2006. Трубопроводи сталеві підземні систем холодного і гарячого водопостачання. Загальні вимоги до захисту від корозії. – Київ, 2006. – 112 с. 12. ДСТУ 3291-95. Єдина система захисту від корозії та старіння. Методи оцінки біокорозійної активності ґрунтів і виявлення наявності мікробної корозії на поверхні підземних металевих споруд. – Київ, 1995. – 68 с. 13. Андреюк К. І. Мікробна корозія підземних споруд: монографія / К. І. Андреюк, І. П. Козлова, Ж. П. Коптева та ін. – К.: Наукова думка, 2005. – 73 с. 14. ДСТУ Н Б В.2.3-21:2008. Магістральні трубопроводи. Настанова. Визначення залишкової міцності магістральних трубопроводів з дефектами. – Чинний з 01.01.2009 р. 15. Джала Р. Оцінювання параметрів напруженого стану металу трубопроводу з корозійною каверною / Р. Джала, В. Юзевич // Матеріали 5-ї Міжнародної конференції “Механіка руйнування матеріалів і міцність конструкцій”. – Львів: 24–27.06.2014. – С. 675–680. 16. Джала Р. Система збалансованих показників для дослідження корозійних дефектів / Р. Джала, В. Юзевич, М. Мельник, О. Семенюк // Вимірювальна техніка та метрологія. – 2011. – № 72. – Р. 130–134. 17. Kaeshe H. Die Korrosion der Metalle. Physikalisch-chemische Prinzipien und aktuelle Probleme / H. Kaeshe. – 1979. – Berlin-Heidenberg-New York: Springer-Verlag. – 400 p.