

УДК 621.81:(621.891+620.194)

В.С. КУРСКОЙ

Хмельницький національний університет

Ю.І. ШАЛАПКО

Природничо-технологічний університет, м. Бидгошч, Польща

## ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ПЕРЕВІРКА МЕТОДИКИ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ПОВЕРХОНЬ ФРЕТИНГ-КОНТАКТУ

*Виконано перевірку методики ідентифікації поверхонь номінально-нерухомих з'єднань, зокрема визначено величину питомої тангенційної жорсткості залежно від методу модифікації поверхонь контакту та проведено порівняння з теоретичними результатами.*

*Ключові слова: номінально-нерухомі фрикційні з'єднання, модифікування поверхні, поверхня контакту, модель, фретинг.*

V. KURSKOY

Khmelnytsky National University

Y.I. SHALAPKO

Natural and technological university city. Bydgoszcz, Poland

### EXPERIMENTAL VERIFICATION METHOD FOR IDENTIFICATION OF SURFACE FRETTING-CONTACTS

*Completed inspection methods identify surfaces nominally-fixed joints, including defined value relative tangential stiffness depending on the method of surface modification of contact and a comparison with the theoretical results. Based on the results of comparison of the tangential contact stiffness obtained experimentally with data mathematical modelling of the contact zone, we can conclude that the proposed methodology for determining the elastic properties of the modified surfaces adequately reflects the real processes. Results of laboratory verification of values of elastic characteristics of the contact zone with sufficient accuracy correlated with the results of mathematical modelling.*

*Keywords: nominally-fixed joints, surface modification, surface contact model fretting.*

Широкий спектр застосовуваних методів зміцнення залишає відкритим питання їх впливу на здатність з'єднань до довготривалого збереження цілісності. Особливістю сучасних методів зміцнення поверхонь деталей є те, що вони змінюють геометрію поверхневого шару в якісно широкому діапазоні – від зміни шорсткості до надання специфічної макрогеометричної форми. В публікаціях [1–6] наведено теоретичні засади створення універсального методу ідентифікації модифікованих поверхонь номінально-нерухомих фрикційних з'єднань (ННФЗ). Особливістю запропонованого підходу є можливість порівняти експлуатаційні властивості номінально-нерухомого контакту при різних методах модифікації. З огляду на це запропоновано алгоритм прогнозування стану номінально-нерухомого з'єднання, який може бути представлений у наступному вигляді (рис. 1).

Алгоритм складається з чотирьох основних блоків:

- визначення та аналіз вихідних характеристик модифікованих елементів номінально-нерухомих з'єднань,
- моделювання поверхневих нерівностей на основі отриманих статистичних даних у відповідності до їх характеристик,
- моделювання взаємодії поверхонь та визначення динамічних характеристик модифікованого контакту,
- внесенням зазначених характеристик до динамічної моделі визначено здатність даного типу модифікованих поверхонь за певних умов експлуатації до довготривалого збереження стану відносної нерухомості.

В роботах [1–6] була запропонована силова модель контакту, в основу якої покладено мікроелемент у вигляді еліптичного параболоїда, яка дозволяє ідентифікувати модифіковані поверхні та визначити сили і напруження, які виникають в зоні контакту. В свою чергу, розрахунок просторового положення рівнодійної допомагає оцінити співвідношення між її складовими у вертикальній площині та розрахувати характеристики змодельованого контакту з точки зору забезпечення цілісності номінально-нерухомого фрикційного з'єднання (ННФЗ) в умовах тангенційного навантаження. Зокрема було визначено таку інтегральну характеристику контактної зони як питома тангенційна жорсткість. Для експериментального підтвердження адекватності математичної моделі та реального контакту було спрогнозовано величину питомої контактної жорсткості подібних з'єднань, контактуючі поверхні яких було модифіковано зі створенням регулярних нерівностей з певним рівнем упорядкованості. Для подальшої реалізації наведеного алгоритму прогнозування стану спряження необхідно виконати перевірку відповідності теоретично визначеної тангенційної жорсткості контакту до жорсткості реального спряження.

В загальному випадку контактна жорсткість визначається як відношення дотичної сили в контакті до взаємного зміщення в контакті:

$$C = \frac{F}{x}, \quad (1)$$

де  $F$  – тангенційне зусилля, Н;  
 $x$  – тангенційне зміщення, м.

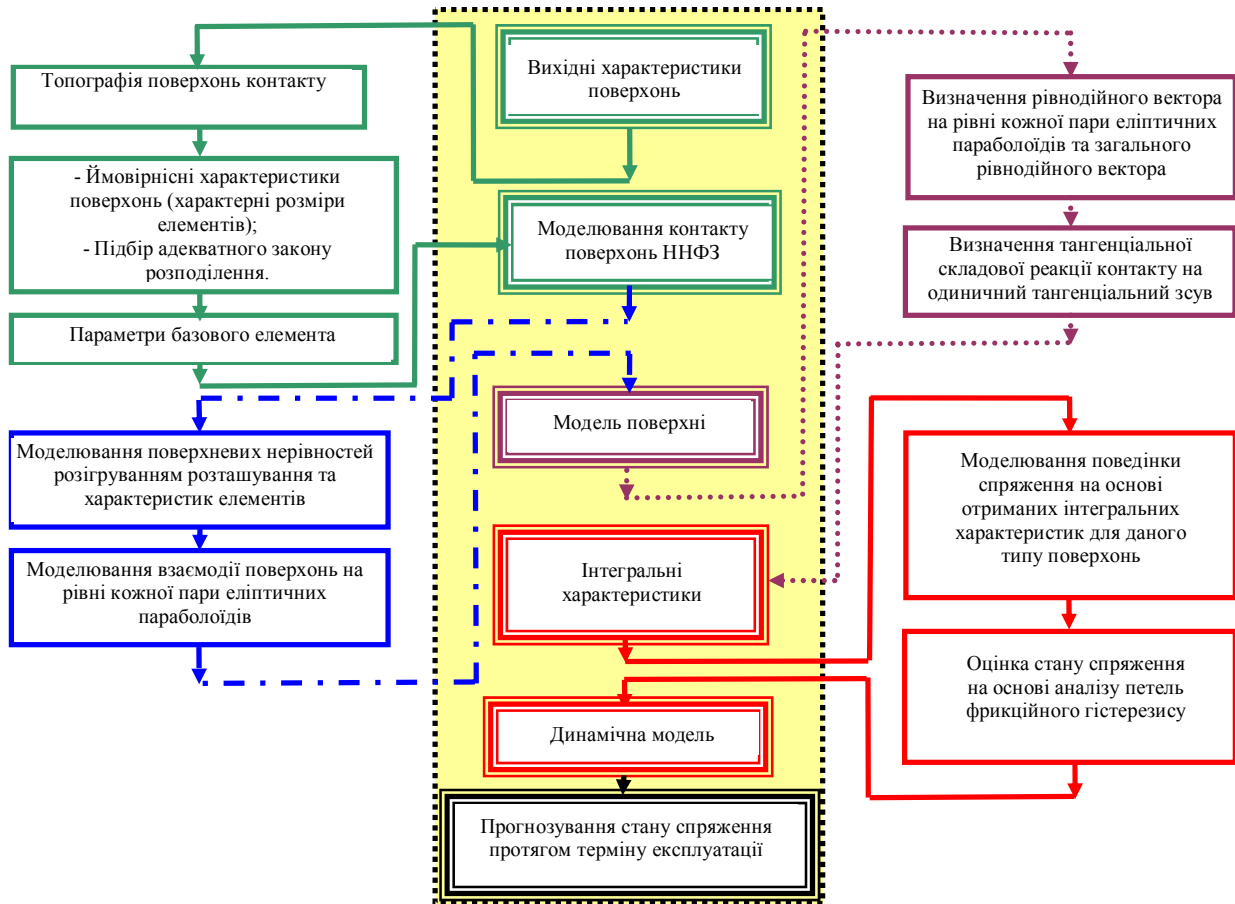


Рис. 1. Загальний алгоритм прогнозування стану модифікованого номінально-нерухомого фрикційного контакту в умовах знакозмінного тангенціального навантаження

Питома тангенційна жорсткість:

$$C_\tau = \frac{F}{\Delta x \cdot S}, \quad (2)$$

де  $\Delta x$  – величина відносного зміщення,  
 $S$  – площа контакту.

Для визначення тангенційної жорсткості контакту було застосовано наступну схему для (рис. 2, а). Представлення контактної зони стосовно задачі визначення тангенційної жорсткості наведено на рисунку 2, б.

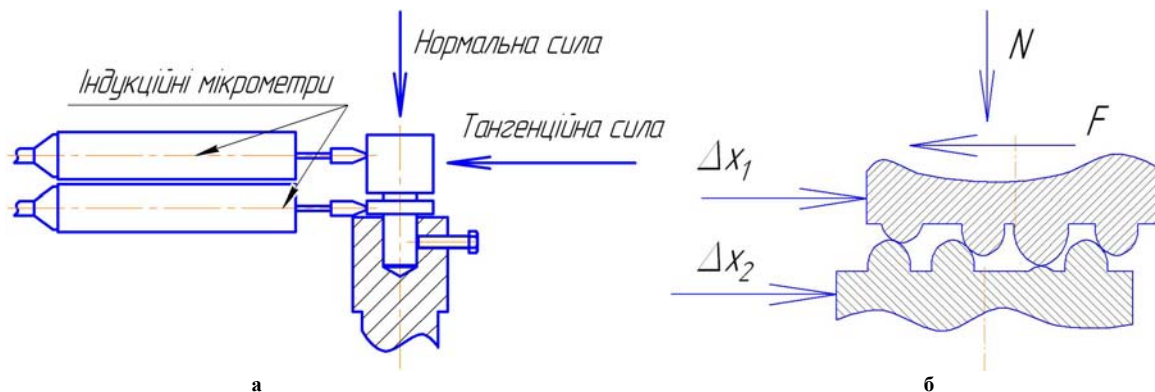


Рис. 2. а – Схема визначення тангенційної жорсткості контакту; б – Контактна зона ННФЗ

А еквівалентна схема контактної зони ННФЗ виглядає наступним чином:

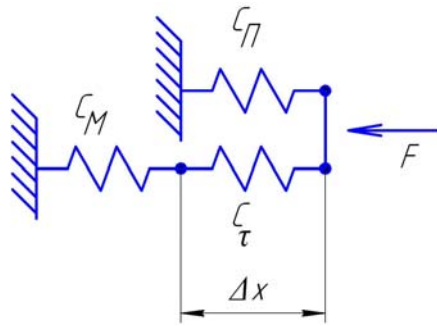


Рис. 3. Еквівалентна схема контактної зони ННФЗ: де  $C_\tau$  – контактна жорсткість,  $C_M$  – власна жорсткість матриці,  $C_\Pi$  – власна жорсткість пуансона

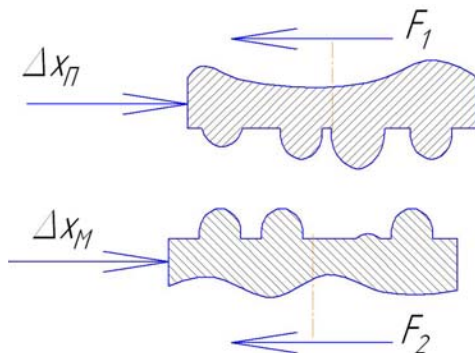


Рис. 4. Схема визначення власних жорсткостей матриці та пуансона

В такому випадку сумарна жорсткість визначається за формулою:

$$C_\Sigma = \frac{C_\tau \cdot C_M}{C_\tau + C_M} + C_\Pi. \quad (3)$$

Для визначення власних жорсткостей матриці та пуансона схему вимірювання було реалізовано наступним чином:

Величини  $C_M$  та  $C_\Pi$  визначаються як

$$C_M = \frac{F}{\Delta x_i}, \quad (4)$$

$$C_\Pi = \frac{F}{\Delta x_j}. \quad (5)$$

Відповідна сумарна жорсткість з рис.1, б.

$$C_\Sigma = \frac{F}{|\Delta x_1 - \Delta x_2|}. \quad (6)$$

З формули (3) величина тангенційної жорсткості визначається як:

$$C_\tau = \frac{C_M \cdot (C_\Sigma - C_\Pi)}{C_\Sigma - C_M - C_\Pi}, \quad (7)$$

або

$$C_\tau = \frac{C_M \cdot \left( \frac{F}{|\Delta x_1 - \Delta x_2|} - C_\Pi \right)}{\frac{F}{|\Delta x_1 - \Delta x_2|} - C_M - C_\Pi}. \quad (8)$$

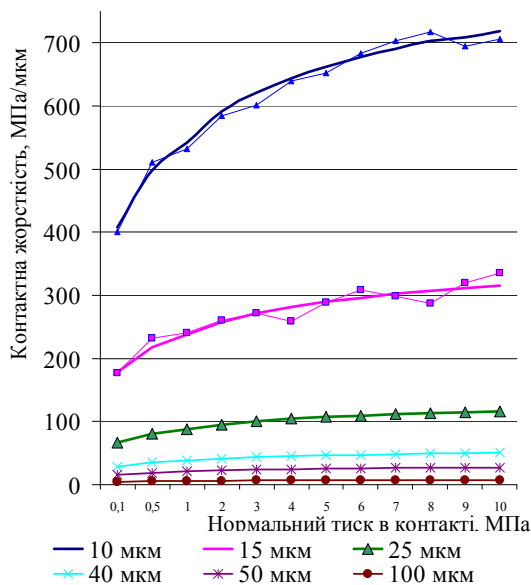


Рис. 5. Зміна питомої тангенційної жорсткості контакту для сталі 30ХГСА в залежності від величини нормального тиску для поверхонь модифікованих електроіскровим легуванням

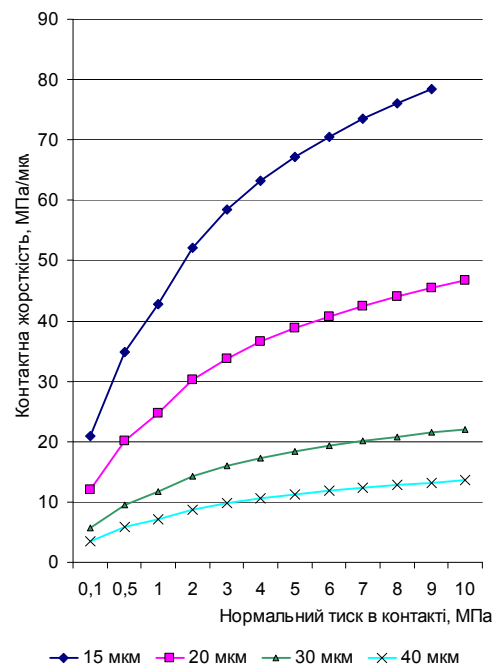


Рис. 6. Зміна тангенційної жорсткості в залежності від величини нормального тиску для поверхонь модифікованих лазерною обробкою (10Вт) в залежності від кроку обробки

Вимірювання проводилося за наступним сценарієм. До спряженого контакту прикладалось тангенційне зусилля, величина якого контролювалася за допомогою динамометра, при цьому за допомогою індукційних датчиків-мікрометрів було визначено величину відносного зміщення пуансона стосовно матриці. Важливою особливістю проведення дослідження контактної жорсткості, що впливає з теоретичної

моделі, є те, що величина деформацій в контактї, викликаних збуренням при вимірюванні, не повинна перевищувати величину кроку періодичності обробки. З метою запобігання проковзуванню на окремих ділянках контактування, а також з метою усунення помилки визначення зусилля деформації через наявність сили статичного тертя та мікропроковзування, при визначенні величини сили  $F$  приймалася лише та величина, яка викликала пружні деформації, тобто при знятті зусилля з контактної зони тіла поверталися до початкового положення.

Результати для математичного моделювання контактної жорсткості номінально-нерухомих з'єднань, контактуючі поверхні яких модифіковані зі створенням регулярного профілю в залежності від кроку обробки та нормального тиску наведені на рисунку 5, 6. Методика ідентифікації та характеристики створених нерівностей викладено в [2, 5].

На рисунках 7–10 наведено результати порівняння результатів математичного моделювання та експериментальних даних для визначення контактної жорсткості ННФЗ з регулярним профілем поверхні.

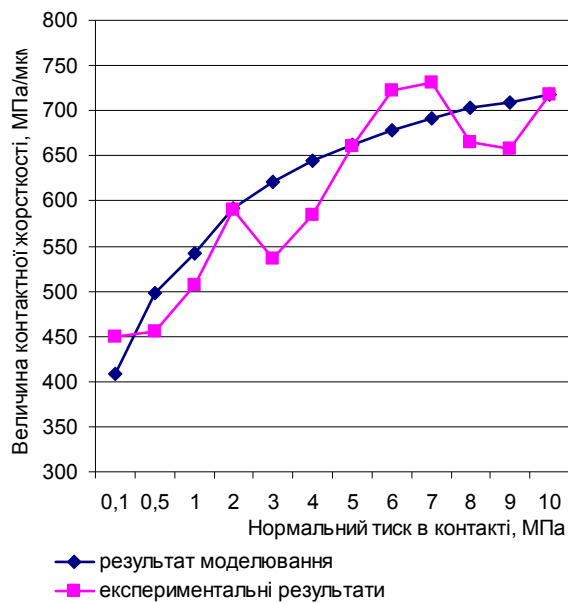


Рис. 7. Порівняння величини питомої тангенційної жорсткості для контакту, поверхні якого було модифіковано методом електроіскрового легування зі створенням регулярного профілю з кроком нерівностей 10 мкм

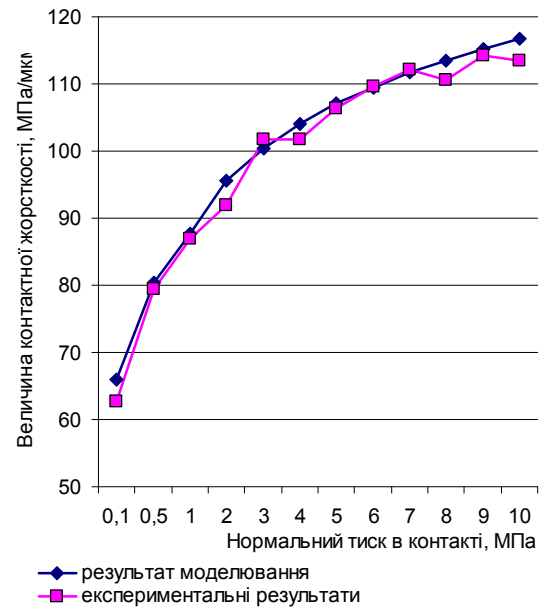


Рис. 8. Порівняння величини питомої тангенційної жорсткості для контакту, поверхні якого було модифіковано методом електроіскрового легування зі створенням регулярного профілю з кроком нерівностей 25 мкм

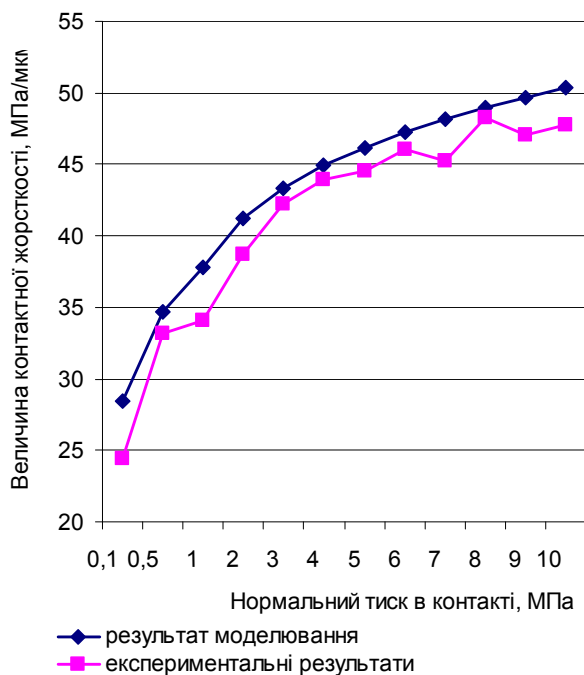


Рис. 9. Порівняння величини питомої тангенційної жорсткості для контакту, поверхні якого було модифіковано методом електроіскрового легування зі створенням регулярного профілю з кроком нерівностей 40 мкм

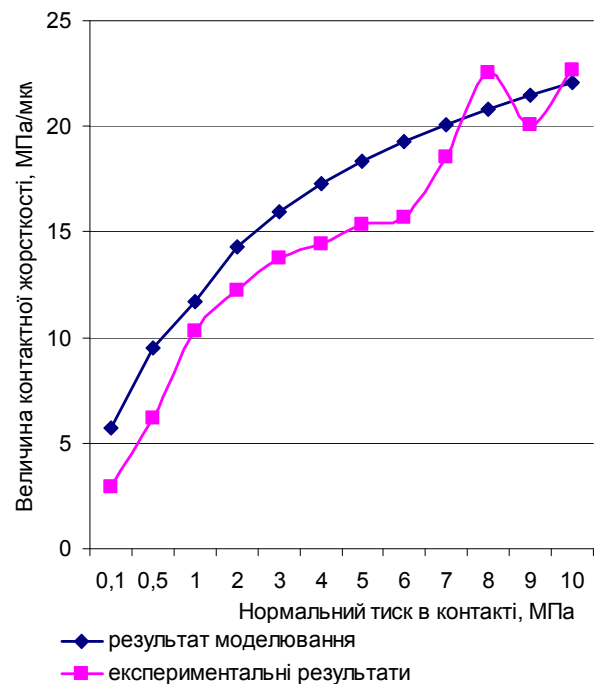


Рис. 10. Порівняння величини питомої тангенційної жорсткості для контакту, поверхні якого було модифіковано методом лазерної обробки зі створенням регулярного профілю з кроком нерівностей 30 мкм

Таким чином, виходячи з результатів порівняння значень тангенційної жорсткості контакту, отриманих експериментально, з даними математичного моделювання контактної зони, можна зробити висновок, що запропонована методологія визначення пружних характеристик модифікованих поверхонь адекватно відображає реальні процеси. Результати лабораторної перевірки значень пружних характеристик контактної зони з достатньою точністю корелюють з результатами математичного моделювання. Максимальна розбіжність математичного та теоретичного визначення контактної жорсткості не перевищує 49% (в середньому 17–37%). Такий результат підтверджує правильність визначення питомої жорсткості контактної зони.

### Література

1. Пастух І. М. Класифікація та аналіз з'єднань деталей машин з позицій фретингостійкості / І. М. Пастух, В. С. Курской // Вісник Хмельницького національного університету. – 2009. – № 5. – С. 20–23.
2. Пастух І. М. Методика ідентифікації поверхонь фретинг-контакту / І. М. Пастух, В. С. Курской // Вісник Хмельницького національного університету. – 2010. – № 1. – С. 47–50.
3. Пастух І. М. Модель контакту мікроелементів поверхонь / І. М. Пастух, В. С. Курской // Вісник Хмельницького національного університету. – 2010. – № 2. – С. 23–30.
4. Пастух І. М. Формування моделі поверхні контакту та її характеристик / І. М. Пастух, В. С. Курской // Вісник Хмельницького національного університету. – 2010. – № 3. – С. 11–14.
5. Пастух І. М. Результуюча сила пружного контакту мікроелементів поверхні / І. М. Пастух, В. С. Курской // Вісник Хмельницького національного університету. – 2011. – № 1. – С. 11–15.
6. Курской В.С. Теоретична перевірка силової моделі поверхневого контакту / В. С. Курской // Вісник Хмельницького національного університету. – 2011. – № 6. – С. 119–122.

### Rerences

1. Pastukh I. M., Kurskoi V. S. "Klasyfikatsiia ta analiz ziednan detalei mashyn z pozytsii fretynhostiikosti". Herald of Khmelnytsky National University. – 2009, Issue 5. – S. 20–23.
2. Pastukh I. M., Kurskoi V. S. "Metodyka identyfikatsii poverkhon fretynh-kontaktu". Herald of Khmelnytsky National University. – 2010, Issue 1. – S. 47–50.
3. Pastukh I. M., Kurskoi V. S. "Model kontaktu mikroelementiv poverkhon". Herald of Khmelnytsky National University. – 2010, Issue 2. – S. 23–30.
4. Pastukh I. M., Kurskoi V. S. "Formuvannia modeli poverkhni kontaktu ta yii kharakterystyk". Herald of Khmelnytsky National University – 2010, Issue 3. – S. 11–14
5. Pastukh I. M., Kurskoi V. S. "Rezultuiucha syly pruzhnoho kontaktu mikroelementiv poverkhni". Herald of Khmelnytsky National University – 2011, Issue 1. – S. 11–15.
6. Kurskoi V.S. "Teoretychna perevirka sylovoi modeli poverkhnevoho kontaktu". Herald of Khmelnytsky National University – 2011, Issue 6. – S. 119–122.

Рецензія/Peer review : 11.9.2014 р.

Надрукована/Printed :29.11.2014 р.

Рецензія: д.т.н., проф. І.М. Пастух