

ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ ДЛЯ ОЦІНКИ ФУНКЦІЙ НАЛЕЖНОСТІ НЕЧІТКИХ МНОЖИН НА ОСНОВІ ОПЕРАТОРІВ T-НОРМ ТА S-НОРМ

У статті проведено аналіз існуючих логічних операторів t-норм та s-норм для визначення відношень між вхідними та вихідними координатами системи. У процесі роботи досліджено вплив непараметризованих операторів t-норм та s-норм на ефективність обробки нечіткої інформації. Розроблено інформаційну технологію обробки нечітких сигналів для оцінки функцій належності нечітких множин під час використання різномісних логічних операторів. Підвищено точність нечіткої моделі оцінки рівня збереженості вантажу. Отримані результати підтверджують неоднозначність впливу різномісних логічних операторів t-норм та s-норм на точність нечіткої моделі. Подальші дослідження мають забезпечити виявлення впливу логічних операторів на результат нечіткого логічного висновку.

Ключові слова: нечітка модель, логічне правило, t-норми, s-норми, точність моделі.

В данной работе проведен анализ существующих логических операторов t-норм и s-норм для определения отношений между входными и выходными координатами системы. В процессе работы исследовано влияние непараметризованных операторов t-норм и s-норм на эффективность обработки нечеткой информации. Разработана информационная технология обработки нечетких сигналов для оценки функций принадлежности нечетких множеств при использовании разнотипных логических операторов. Повышена точность нечеткой модели для оценки уровня сохранности груза. Полученные результаты подтверждают неоднозначность влияния разнотипных логических операторов t-норм и s-норм на точность нечеткой модели. Дальнейшие исследования должны обеспечить выявление влияния логических операторов на результат нечеткого логического вывода.

Ключевые слова: нечеткая модель, логическое правило, t-нормы, s-нормы, точность модели.

In this work analyzed the existing logical operators of t-norms and s-norms to determine relationships between input and output coordinate system. The influence of non-parametrize operators of t-norms and s-norms on fuzzy information processing efficiency was researched. There was developed the information technology of fuzzy signals processing for evaluation the membership functions of fuzzy sets using different types of logical operators. The accuracy of fuzzy model for evaluation of cargo safety was increased. The results confirm the ambiguity of the influence of different types of logical operators on the accuracy of the fuzzy model. The further research must provide the influence of logical operators on the result of fuzzy inference.

Key words: fuzzy model, logical rule, t-norm, s-norm, model accuracy.

Вступ. Системи підтримки прийняття рішень (СППР) останнім часом перебувають у полі зору широкого кола фахівців, оскільки дозволяють істотно підвищити якість вибору людиною (ЛПР) оптимального рішення з множини альтернативних варіантів у складних або екстремальних ситуаціях [1]. Будь-яку інтелектуальну систему можна представити у вигляді узагальненої моделі, структуру якої описують за допомогою відповідних підходів і математичних залежностей за наявності чітко визначеної (формалізованої) інформації, яку можна представити кількісними

характеристиками. При цьому все більш актуальною стає потреба в обробці нечіткої, тобто якісної, інформації, яку складно або неможливо формалізувати [2].

Аналіз досліджень і публікацій. Область застосування нечітких систем управління та підтримки прийняття рішень останнім часом постійно розширюється [2-4]. Моделювання на основі експертних знань про систему представляє собою підхід, в основу якого покладено знання та досвід людини, яка виступає експертом у питаннях, що пов'язані з реальною

системою [5]. У дослідженнях [6; 7] представлено недоліки класичної логіки стосовно моделювання реальних систем. При цьому введення поняття нечіткої множини [5] дає змогу удосконалення моделей, що містять логічні оператори. У попередніх дослідженнях [8] визначено операцію перетину нечітких множин як розширення відповідної операції над чіткими множинами. Дослідження [7] показали, що для підвищення точності нечітких моделей необхідним виступає застосування додаткових логічних операторів t-норм та s-норм. При цьому процес визначення оптимального типу оператора на практиці зводиться до інтуїтивного вибору, виходячи з досвіду, на основі гіпотез або методом спроб і помилок [9]. Це призводить до складності ефективної оцінки функцій належності нечітких множин при використанні різнотипних логічних операторів t-норм та s-норм.

Синтез нечітких інтелектуальних СППР передбачає розробку моделі системи з визначенням її структурної та параметричної ідентифікації. Окрім цього необхідним є існування відповідного програмного забезпечення для автоматизації процесів моделювання таких систем [2; 5].

У процесі побудови відповідної моделі виникає складність налаштування її параметрів, зокрема, кількість нечітких правил та лінгвістичних термів, форма функцій належності (ФН). Це пов'язано з великою розмірністю вектора вхідних даних, який не змінюється в процесі прийняття рішень [1; 2; 5].

Постановка задачі. Метою роботи є дослідження впливу непараметризованих операторів t-норм та s-норм на ефективність обробки нечіткої інформації. У статті також обговорюються методи підвищення точності нечіткої моделі за рахунок зменшення кроку дискретності розбиття носіїв нечітких множин. Необхідною умовою для визначення оптимальних логічних операторів t-норм та s-норм є розробка інформаційної технології обробки нечітких сигналів, що базується на оцінці результатів виконання операцій перетину та об'єднання нечітких множин.

Аналіз методів обробки нечіткої інформації. Етап синтезу нечітких СППР вимагає наявності лінгвістичної моделі, яка включає в себе інформацію про розмірність вектора вхідних та вихідних даних, залежності між ними, що описуються у вигляді вербальних правил, кількість та форма ФН [5].

Нечітка модель реальної системи складається з логічних правил, що описують її функціональний стан. При цьому, наприклад, для системи з чотирма вхідними координатами (x_1, x_2, x_3, x_4) та однією вихідною у логічне правило має наступну структуру (1):

$$IF (x_1 \in A) AND (x_2 \in B_j) AND (x_3 \in C_k) AND (x_4 \in D_l) THEN (y \in E_n), \quad (1)$$

де x_1, x_2, x_3, x_4 – вхідні координати системи;

y – вихідна координата системи;

A_j, B_j, C_k, D_l, E_n – нечіткі множини (лінгвістичні терми), що використовуються експертом для лінгвістичної оцінки значень вхідних та вихідних сигналів системи.

На рис. 1 представлено інформаційні потоки, які необхідні в процесі розробки нечіткої лінгвістичної моделі на основі реальної системи [1; 5].

Розробка нечіткої лінгвістичної моделі (рис. 1) неможлива без залучення експерта з нечіткого моделювання, який визначає і формує математичний інструментарій (вибір виду та форми ФН для фазифікації та дефазифікації відповідних значень вхідних і вихідної координат системи) [3; 5].

Якісна лінгвістична модель може бути побудована для систем невеликої розмірності, головним чином, для систем із однією або двома вхідними координатами. Це пов'язано з особливостями людського сприйняття, що виключає можливість запам'ятовування більше ніж 7 ± 2 станів досліджуваної системи [4].

Збільшення кількості правил дозволяє підвищити точність моделі, але при цьому ускладнюється її налаштування, зокрема, при великій розмірності вектора вхідних координат [5; 10]. Для підвищення точності результатів моделювання та ефективності прийняття рішень нечітку модель попередньо навчають, тобто ітераційно змінюють її параметри з метою мінімізації відхилення результатів логічного виведення від експериментальних даних. Налаштовують як ваги правил, так і ФН нечітких лінгвістичних термів (ЛТ). Процедура навчання нечіткої моделі Мамдані-типу є задачею нелінійної оптимізації, у рамках якої основну увагу приділяють досягненню максимальної точності навчання нечіткої СППР [11].

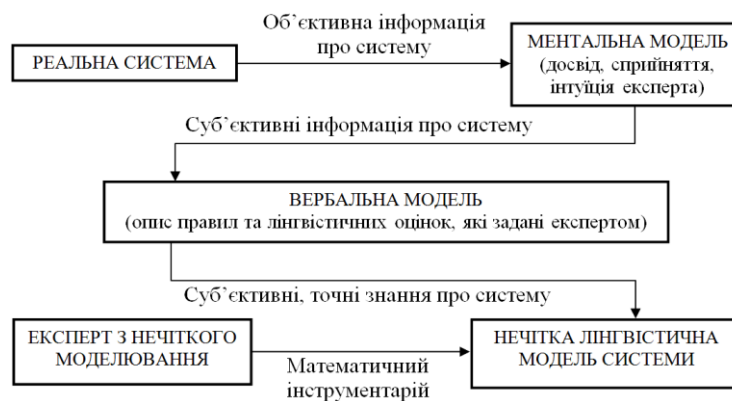


Рис. 1. Процес розробки нечіткої лінгвістичної моделі реальної системи

Для обробки інформації у відповідних нечітких моделях необхідно використовувати ряд операцій логічного характеру [5]. Якщо нечіткі множини A_i, B_j, C_k, D_l, E_n застосовують для обчислення ступенів істинності вхідних та вихідних параметрів (координат) системи, то логічні операції (наприклад AND, OR) задають якісні відношення між відповідними координатами системи за рахунок об'єднання фрагментів правила в єдину структуру (1).

Проблема, що розглядається, є актуальною, оскільки точність нечіткої моделі залежить як від способу завдання нечітких множин (кількості, форми та параметрів функцій належності), так і від типу логічних операцій, до яких належать: t-норми (AND, \cap, \wedge) та s-норми (OR, \cup, \vee). Відповідні логічні операції мають декілька різнотипних форм представлення, в зв'язку з чим виникає необхідність вибору оптимальної, для конкретної задачі, форми [3; 5]. У таблиці 1 представлено частковий перелік непараметризованих операторів t-норми.

Таблиця 1

Непараметризовані оператори t-норми

Назва оператора	Математична формалізація
мінімум (MIN)	$\mu_{A \cap B}(x) = MIN(\mu_A(x), \mu_B(x))$
добуток ($PROD$)	$\mu_{A \cap B}(x) = \mu_A(x) \cdot \mu_B(x)$
добуток Гамахера	$\mu_{A \cap B}(x) = \frac{\mu_A(x) \cdot \mu_B(x)}{\mu_A(x) + \mu_B(x) - \mu_A(x) \cdot \mu_B(x)}$

У статті обговорюються результати застосування непараметризованих операторів t-норм та s-норм для дослідження їх впливу на оцінку рівня збереженості вантажу (рисунок 2). При цьому необхідно визначити форму ФН координати x до

нечіткої множини $M \& H$ (середній (M) і високий (H) рівень збереженості вантажу, $M \& H = M \cap H$), використовуючи різнотипні непараметризовані оператори.

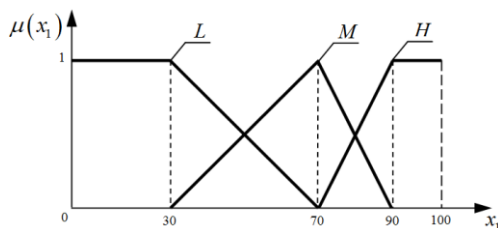


Рис. 2. ФН лінгвістичної змінної «Рівень збереженості вантажу»

Результати моделювання. У відповідності з чіткою логікою, рівень збереженості вантажу не може бути одночасно середнім і високим, у той час як нечітка логіка допускає можливість існування відповідної множини. ФН множини $M \& H$ залежить від обраного оператора t-норми [5].

Інформаційна технологія [12], що дозволяє визначати форму та кількість ФН нечітких множин, представлена на рисунку 3. При цьому існує можливість проведення аналізу впливу різнотипних логічних операторів t-норм та s-норм на результат обробки нечіткої інформації.

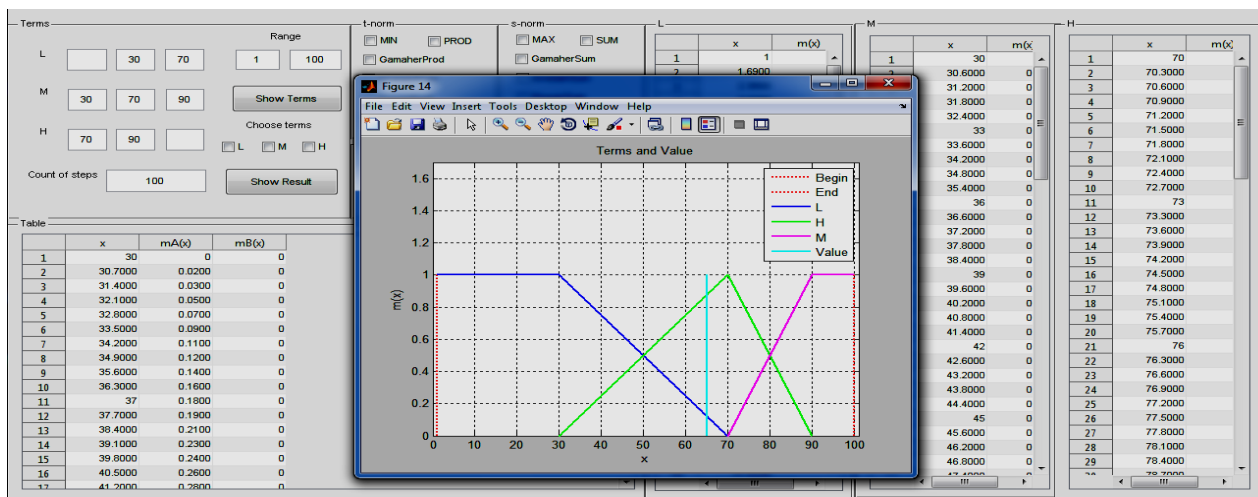


Рис. 3. Інформаційна технологія обробки нечіткої інформації

На рисунку 4 представлено результати дослідження розробленої інформаційної технології для знаходження ФН множини $M \& H$ (середній і високий рівень збереженості вантажу) при різних операторах t-норм.

При цьому площа поверхні отриманої ФН множини $M \& H$ відрізняється, що свідчить про неоднозначність обробки нечіткої інформації при використанні різномісних операторів t-норм.

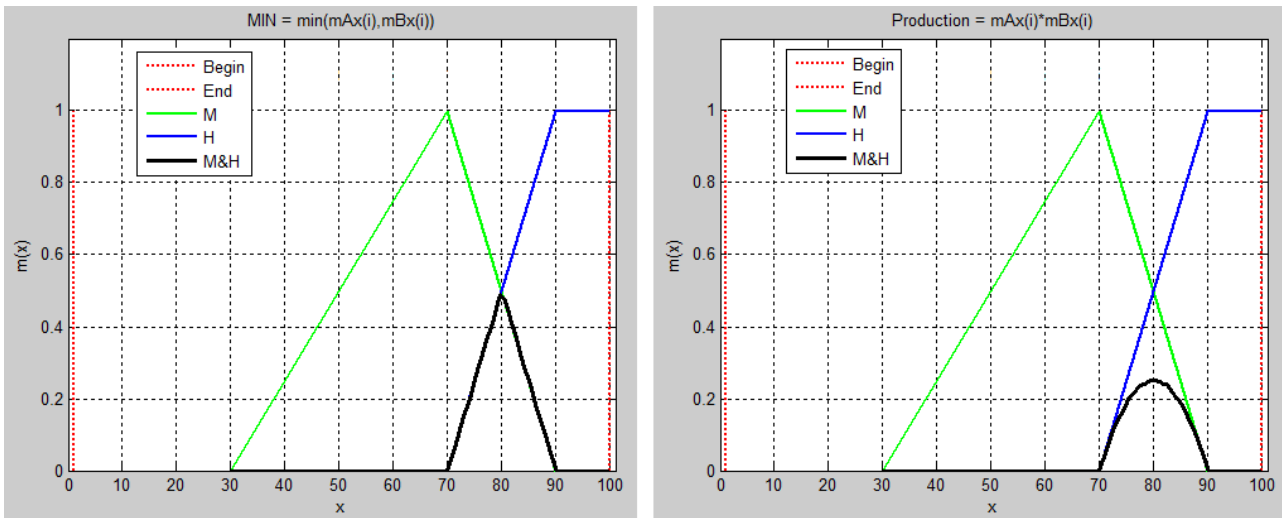


Рис. 4. ФН множини $M \& H$ при різних операторах t-норм (мінімум та добуток)

Результати роботи інформаційної технології для знаходження ФН множини $M \& H$ (середній і високий рівень збереженості вантажу) при різних операторах s-

норм (максимум та алгебраїчна сума) представлено на рисунку 5.

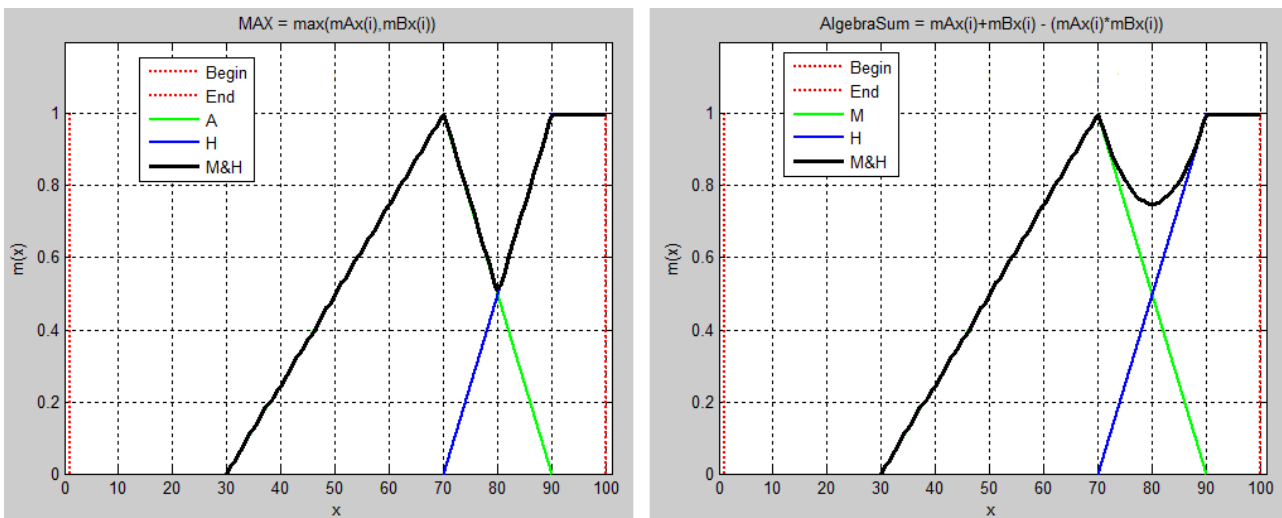


Рис. 5. ФН множини $M \& H$ при різних операторах s-норм

Існує можливість підвищення точності нечіткої моделі за рахунок зменшення кроку дискретності розбиття носіїв нечітких множин. За допомогою інтегральної похибки або суми величин абсолютних похибок (2) оцінюють точність моделі [5]

$$I(y, x) = \int_{x_{\min}}^{x_{\max}} [y(x) - y_m(x)]^2 dx, \quad (2)$$

$$I = \sum_{i=1}^n |y(x_i) - y_m(x_i)|,$$

де $y(x)$ – значення вихідної координати системи,

$y_m(x)$ – значення вихідної координати нечіткої моделі.

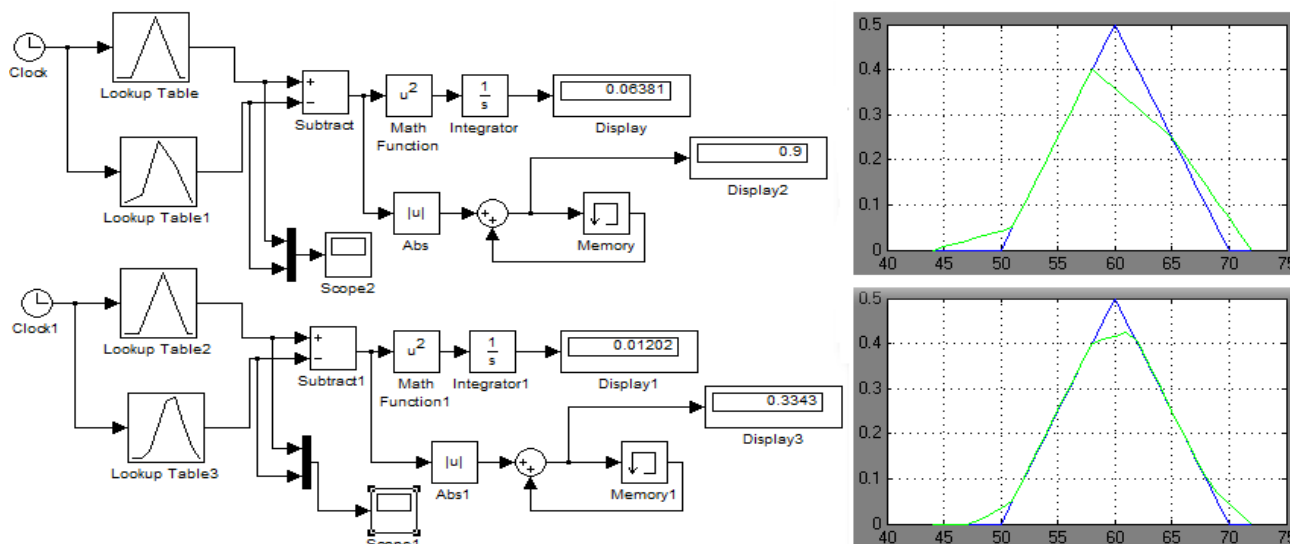


Рис. 6. Оцінка точності моделі з використанням оператора мінімум

Зменшення кроку дискретизації призвело до підвищення точності моделі за рахунок зменшення інтегральної похибки з 0,06 до 0,01 та суми величин абсолютних похибок з 0,9 до 0,33 (рисунок 6).

Висновки. Результатами моделювання доведено, що оператори t-норм та s-норм по-різному впливають на ефективність обробки нечіткої інформації. При цьому зменшення кроку дискретності розбиття носіїв

нечітких множин дозволяє підвищити точність моделі за рахунок зменшення інтегральної похибки та суми величин абсолютних похибок. Синтезована інформаційна технологія обробки нечітких систем ефективно використовується для оцінки ФН нечітких множин при різних логічних операторах у різноманітних задачах прийняття рішень.

ЛІТЕРАТУРА

1. Ротштейн А. П. Интеллектуальные технологии идентификации: нечёткая логика, генетические алгоритмы, нейронные сети / А. П. Ротштейн. – Винница : УНИВЕРСУМ, 1999. – 320 с.
2. Кондратенко В. Ю. Об'єктно-орієнтовані моделі для синтезу інтелектуальних систем з нечіткою логікою / В. Ю. Кондратенко, В. С. Яценко // Праці Одеського національного політехнічного університету. – 2006. – С. 44–52.
3. Алтунин А. Е. Модели и алгоритмы принятия решений в нечетких условиях: [монография] / А. Е. Алтунин, М. В. Семухин. – Тюмень : Тюменский государственный университет, 2000. – 352 с.
4. Кондратенко Ю. П. Особливості синтезу і моделювання ієрархічно-організованих СППР на основі нечіткої логіки / Ю. П. Кондратенко, С. В. Сіденко // Вестник Херсонского национального технического университета. – 2011. – № 2(41). – С. 150–158.
5. Пегат А. Нечеткое моделирование и управление / Пегат А. . – М. : БИНОМ, 2012. – 798 с.
6. Yager R. R. Essentials of fuzzy modeling and control / R. R. Yager, D. P. Filev. – New York : JWS, 1994. – 388 p.
7. Driankov D. An introduction to fuzzy control / R. R. Yager, H. Hellendoorn. – Berlin : Springer, 1993. – 316 p.
8. Zade L. A. Fuzzy sets / L. A. Zade // Information and Control. – 1965. – Vol. 8. – P. 338–353.
9. Zimmermann H. J. Fuzzy set theory and its applications / H. J. Zimmermann. – London : Academic Publishers, 1996. – 399 p.
10. Bossley K. M. Neurofuzzy model construction for the modelling of non-linear processes : Proceedings of European Control Conference / K. M. Bossley, M. Brown, C. J. Harris. – Rome, Italy, 1995. – P. 2438–2433.
11. Kondratenko Y. P. Decision-Making and Fuzzy Estimation of Quality Level for Cargo Delivery, Proceeding of the 2nd World Conference on Soft Computing / Y. P. Kondratenko, Ie. V. Sidenko. – Baku, Azerbaijan, 2012. – P. 418–423.
12. Сіденко Є. В. Дослідження впливу різноманітних операторів t-норм та s-норм на ефективність обробки нечіткої інформації, Матеріали конференції Сучасні інформаційні технології / Є. В. Сіденко, К. О. Баранов. – Одеса, Україна, 2013. – С. 126–128.

Рецензенти: Павлов Г. В., д.т.н., професор;
Фісун М. Т., д.т.н., професор.

© Кондратенко Ю. П.,
Кондратенко Г. В.,
Сіденко Є. В., 2013

Дата надходження статті до редколегії 14.05.2013 р.

КОНДРАТЕНКО Юрій Пантелійович, д.т.н., професор, Чорноморський державний університет ім. Петра Могили, м. Миколаїв, Україна.

КОНДРАТЕНКО Галина Володимирівна, к.т.н., доцент, Чорноморський державний університет ім. Петра Могили, м. Миколаїв, Україна.

СІДЕНКО Є. В., аспірант, Чорноморський державний університет ім. Петра Могили, м. Миколаїв, Україна.