

УДК 504.064.3:574(076):530.1

¹ Дичко Аліна Олегівна

Кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри інженерної екології

² Єремєєв Ігор Семенович

Доктор технічних наук, професор, професор кафедри комунальної теплоенергетики

³ Гузовський Михайло Євгенійович

Дійсний член секції «Екологічно безпечні технології та ресурсозбереження»

¹ Національний технічний університет України «КПІ», Київ² Київський державний університет управління та підприємництва, Київ³ Київська Мала академія наук, Київ

УПРАВЛІННЯ СКЛАДНИМИ СИСТЕМАМИ ПОВОДЖЕННЯ З РІДКИМИ ПОБУТОВИМИ ВІДХОДАМИ

Запропоновано модель функціонування підприємства або установки для поводження з рідкими побутовими відходами як складної системи, спроможної до адаптації, яка може бути описана термінами теорій фракталів і хаосу. Наведено евристики, що описують поведінку системи і необхідні умови для підвищення її ефективності.

Ключові слова: рідкі побутові відходи, складна система, адаптація, модель, евристики, фрактали, хаос

Предложена модель функционирования предприятия или установки для обращения с жидкими бытовыми отходами как сложной системы, способной к адаптации, которая может быть описана в терминах теорий фракталов и хаоса. Наведены эвристики, описывающие поведение системы, и необходимые условия для повышения её эффективности.

Ключевые слова: жидкие бытовые отходы, сложная система, адаптация, модель, эвристики, фракталы, хаос

The model of municipal liquid waste treatment plant as a complex system capable for adaptation is proposed. Model of wastewater treatment systems throughout the region is considered as a hierarchical set of "eights" of interaction between macro- and micro-levels. Macro-level corresponds to big treatment systems that are both above and below (downstream) of wastewater treatment system, and micro-level - to small artificial treatment plants, whose effectiveness is monitored and can be corrected to some extent. As the system functioning at each level is cyclical and the initial conditions for each cycle are not the same, conditions exist to create "chaos", ie unpredictable developments that are typical for biological treatment. For the formation of adaptive cycle of system model development it is necessary to consider such characteristics as inherent system potential, which includes the necessary changes in case of need, degree of connectivity between internal processes and controlled variables, and resilience of system. Designed model is based on results of theories of fractals and chaos. There are proposed some heuristics, which describes the system behaviour and conditions necessary for improvement of system effectiveness.

Key words: municipal liquid waste, complex system, adaptation, model, heuristics, fractals, chaos

Вступ

Системи поводження з рідкими побутовими відходами (СПРПВ) ще перед здобуттям незалежності України увійшли у смугу суцільної кризи, яка обумовлена як фізичним зношенням технічних засобів і відсталими технологіями, так і соціальними та економічними проблемами. Намагання реформувати галузь поки що не дають

очікуваних наслідків, головним чином тому, які програми реформування не базуються на системному підході, який би інтегрально враховував технічні, економічні, соціальні проблеми та проблеми екології, що щільно пов'язані між собою і впливають одна на одну [1]. СПРПВ – складна система, яка знаходиться під впливом як внутрішніх (технічних, соціальних, політичних, економічних і екологічних), так і зовнішніх (соціально-політичні

конфлікти, глобальні екологічні проблеми, зовнішній борг, структурна обмеженість) чинників. Тому їй важливо розглядати в контексті складних систем, що можуть розвиватися.

Сьогодні методи аналізу складних систем широко використовуються, головним чином стосовно технічних, екологічних та економічних систем [2; 3]. Причому йдеться про системи, які описуються або на підставі детермінованих функцій, або з використанням методів математичної статистики. СПРПВ як складна система включає компоненти технічних, соціальних, екологічних та економічних систем, які, як правило, важко формалізувати і які у більшості своїй описуються на рівні лінгвістичних термінів (понять).

Мета статті

Метою роботи є використання ідеї моделювання складної системи у вигляді «вісімки» [4] для відображення поведінки СПРПВ як замкненої циклічно працюючої системи, здатної до адаптації, а також застосування методів теорій фракталів та хаосу, які можуть прояснити деякі проблеми динаміки систем.

Виклад основного матеріалу

Використання результатів спостережень і аналогій дають підставу вважати, що структури і функціонування СПРПВ демонструють у широкому сенсі самоподібність: очищення води від забруднень як в природних умовах, так і на різних очисних спорудах відбувається за однаковими принципами і відрізняється лише продуктивністю та якістю очищення, тобто системи більш-менш однаково уписуються у широкий діапазон просторових, часових та кількісних шкал (масштабів), що свідчить про наявність певної симетрії шкал. Інакше кажучи, такі процеси очищення, як фільтрування, гравітаційне осадження, адсорбція, хімічні та біологічні метаболізми, сублімація, розчинення, обеззараження (наприклад, ультрафіолетовим випромінюванням) тощо властиві як невеликим природним або штучним

очисним спорудам, так і сучасній складній системі у цілому. У такому разі для дослідження подібних систем можна використати методи фрактального аналізу та елементи теорії хаосу. Під час аналізу такої складної системи як СПРПВ треба враховувати чотири головні принципи:

- спрощення (до розумних меж) процесів та структур для їхнього адекватного розуміння;
- розгляд їх в динаміці та перспективі;
- визнання можливості неоднозначності та непередбачуваності;
- розуміння системи як ієрархічної структури, що здатна до адаптації і розвитку.

Модель функціонування СПРПВ

Розвиток будь-якої системи очищення води (або будь-якої з її підсистем) можна представити однією і тією ж моделлю «вісімки», яка характеризує динаміку системи у різних просторових та часових межах [4]. Причому на будь-якому рівні деталізації можна спостерігати однакові компоненти циклів: розвиток r , консервація K , криза ω і реорганізація α , у тому числі реструктуризація s , як це показано на рис. 1.

Початок кожного з циклів (чи то добового, чи сезонного, чи багаторічного або життєвого) починається з **розвитку**, накопичення енергії, зв'язків, розгалуження структури тощо. Після цього настає період **консервації** усього накопиченого, сталого функціонування до моменту початку **кризи** (ніч, зима, природні чи антропогенні катаклізми, насичення фільтруючих та інших структур тощо), коли накопичена енергія витрачається задля компенсації кризових впливів, а встановлені зв'язки порушуються. Нарешті починається період **реорганізації** (адаптації), коли система або пристосовується до умов, що склалися, і повертається до старої «орбіти», або починає реструктуризацію, внаслідок якої може перейти на іншу «вісімку» s , або вийде з ладу (не буде виконувати свої функції).

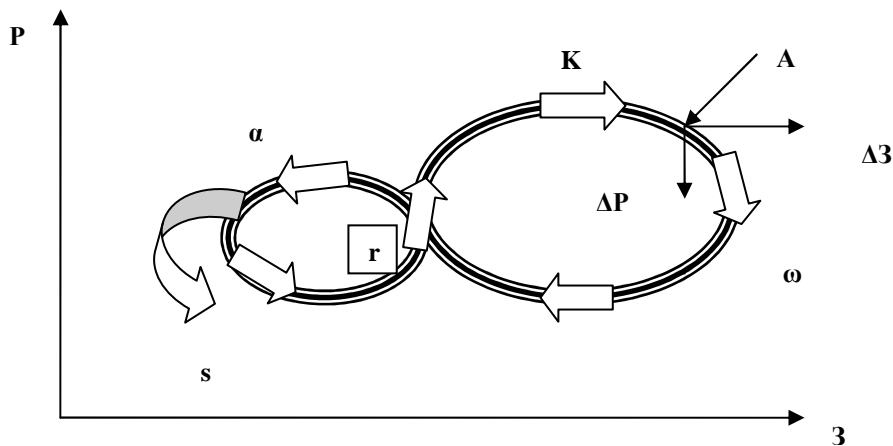


Рис.1 Динаміка об'єктів очисних споруд:
 P – ресурс (енергія); Z – зв'язність (складність); $\Delta P/AZ$ - прирощення ресурсу на кроці AZ

Слід зазначити, що усі очисні споруди (якщо йдеться про регіон, зв'язаний з одним басейном), впливають на вхідні та вихідні показники води (тобто опосередковано одна на одну), отже неякісне очищення завдає шкоди подальшим споживачам води і вимагає коригувати режими роботи очисних споруд. Отже, модель системи очищення води у регіоні можна представити як ієрархічну множину «вісімок», як це показано на рис. 2.

Тут макрорівень відповідає великим системам очистки, які знаходяться як вище, так і нижче (за течією) даної СПРПВ, а мікрорівень – малим штучним очисним спорудам, ефективність яких контролюється і може певною мірою коригуватися.

Окремі напівавтономні рівні (підсистеми) такої системи формуються за рахунок взаємодій між наборами змінних, які існують в середовищі загальних для кожного рівня швидкостей перебігу процесів та просторових меж. Так, функціонування СПРПВ як системи у цілому є достатньо повільний процес, який відбувається протягом життя багатьох поколінь. У той же час функціонування наприклад такої підсистеми СПРПВ, як утилізація органічних складових, лише за останні 70-80 рр. змінювалось у межах населених пунктів принципово декілька разів (від вигрібних ям, в яких відбувалося фільтрування рідких компонентів з подальшим використанням органіки як добрива, до централізованого використання органічних залишків поводження у СПРПВ як добрива або як палива в системах опалення, і до використання автономних «біотуалетів» й інших пристроїв та міні систем для утилізації РПВ). Швидкий (відносно) розвиток окремих підсистем СПРПВ дозволяє зробити весь «життєвий» цикл СПРПВ як цілісної системи більш плавним, сталим, тривким. Але для цього необхідна модель розвитку, яка би могла дати пояснення щодо необхідності проведення (передбачення) тих чи інших заходів з метою покращання функціонування системи у цілому. Для формування адаптивного циклу розвитку (моделі системи) необхідно враховувати три головні характеристики:

- властивий потенціал системи, який дає змогу виконувати необхідні зміни у разі їх потреби (*ресурс*);
- внутрішня керованість (*зв'язність*) системи, тобто ступінь зв'язності між внутрішніми керованими змінними і процесами (міра, що віддзеркалює ступінь гнучкості або жорсткості такого керування, чутливість або нечутливість до збурень);
- здатність до адаптації, *пружність* системи (міра її уразливості відносно неочікуваних або непрогнозованих стресів).

Поки ресурс зростає одночасно із зростанням зв'язності, можна вважати, що модель функціонує адекватно. Після досягнення «насичення», тобто після того, як процес піде майже без прирощення ресурсу, система може ще довго виконувати свої функції як консервативна система зі зворотнім

зв'язком, контролюючи лише ресурс, точніше знак його прирощення. Якщо у будь-якій точці траєкторії (наприклад, А) виявиться, що прирощення ресурсу є від'ємним, тобто ефективність системи знижується, це стає сигналом про необхідність проведення локального циклу інновацій саме у тій підсистемі, де ефективність є найнижчою (або там, де необхідний для цієї інновації ресурс – мінімальний). Цей цикл викликає потребу у споживанні ресурсу для реорганізації та адаптації, після чого система може вийти на більш високий рівень як з точки зору ресурсу, так і зв'язності. Такі локальні цикли можуть виникати періодично і витрати на їх реалізацію можна розглядати як витрати на амортизацію. Їхнє проведення сприятиме більш ефективному і довгому нормальному функціонуванню системи. Можна сформулювати евристики для забезпечення адаптаційних процесів у системі. Якщо прийняти такі скорочення: **НМ** – нова модель; **РЗВ** – розвиток; **ПНМ** – перехід до нової моделі; **РОР** – реорганізація; **КР** – криза; **АД** – адаптація; **ПР** – прирощення ресурсу; **ПЗ** – прирощення зв'язності, **КС** – консервація системи; **ЛШКР** – локальна штучна криза (реорганізація локальної підсистеми з метою її адаптації до нових умов чи вимог), **ЦРЗ** – ціна ризику за умов переходу до **ЛШКР**, то функціонування системи і відповідні коригуючі дії можна описати таким чином:

ЯКЩО ($[\text{ПР} > 0]$ **ТА** $[\text{ПЗ} > 0]$), **ТО** (**РЗВ**);
ЯКЩО ($[\text{ПР} \sim 0]$ **ТА** $[\text{ПЗ} > 0]$), **ТО** (**КС**);
ЯКЩО ($[\text{ПР} < 0]$ **ТА** $[\text{ПЗ} < 0]$), **ТО** (**КР**);
ЯКЩО ($[\text{ПР} > 0]$ **ТА** $[\text{ПЗ} < 0]$), **ТО** (**РОР**);
ЯКЩО ($[\text{ПР} < 0]$ **ТА** $[\text{ПЗ} \sim 0]$), **ТО** (**АД**);
ЯКЩО ($[\text{ПР} < 0]$ **ТА** $[\text{ПЗ} > 0]$ **ТА** $[\text{ЦРЗ} \leq \text{ЦРЗ}_{\text{прим}}$]), **ТО** (**ЛШКР**).

Тут $\text{ЦРЗ}_{\text{прим}}$ – максимально прийнятна **ЦРЗ** за даних умов.

Оскільки функціонування на кожному рівні відбувається циклічно і оскільки початкові умови для кожного циклу, як правило, не однакові, виникають умови для створення «хаосу», тобто непередбачуваного розвитку подій [3; 5-10], що є характерним для систем біологічного очищення. Інакше кажучи, в таких системах виникає можливість лише спрогнозувати межі, всередині яких можливе існування. Ці межі задаються «дивними атракторами». Так, наприклад, якщо йдеться про розвиток популяції в умовах різних вихідних даних, які характерні для функціонування очисних споруд, очікувану щільність популяції біологічно активних бактерій N у момент $t+1$ N_{t+1} можна представити у вигляді нелінійної моделі авторегресії

$$N_{t+1} = N_t [1 + \check{r}(1 - N_t / K)],$$

де N_t – щільність популяції у момент t ; \check{r} – внутрішній темп зростання популяції (мальтузіанський параметр); K – максимальний обсяг даної популяції, можливий для даних умов.

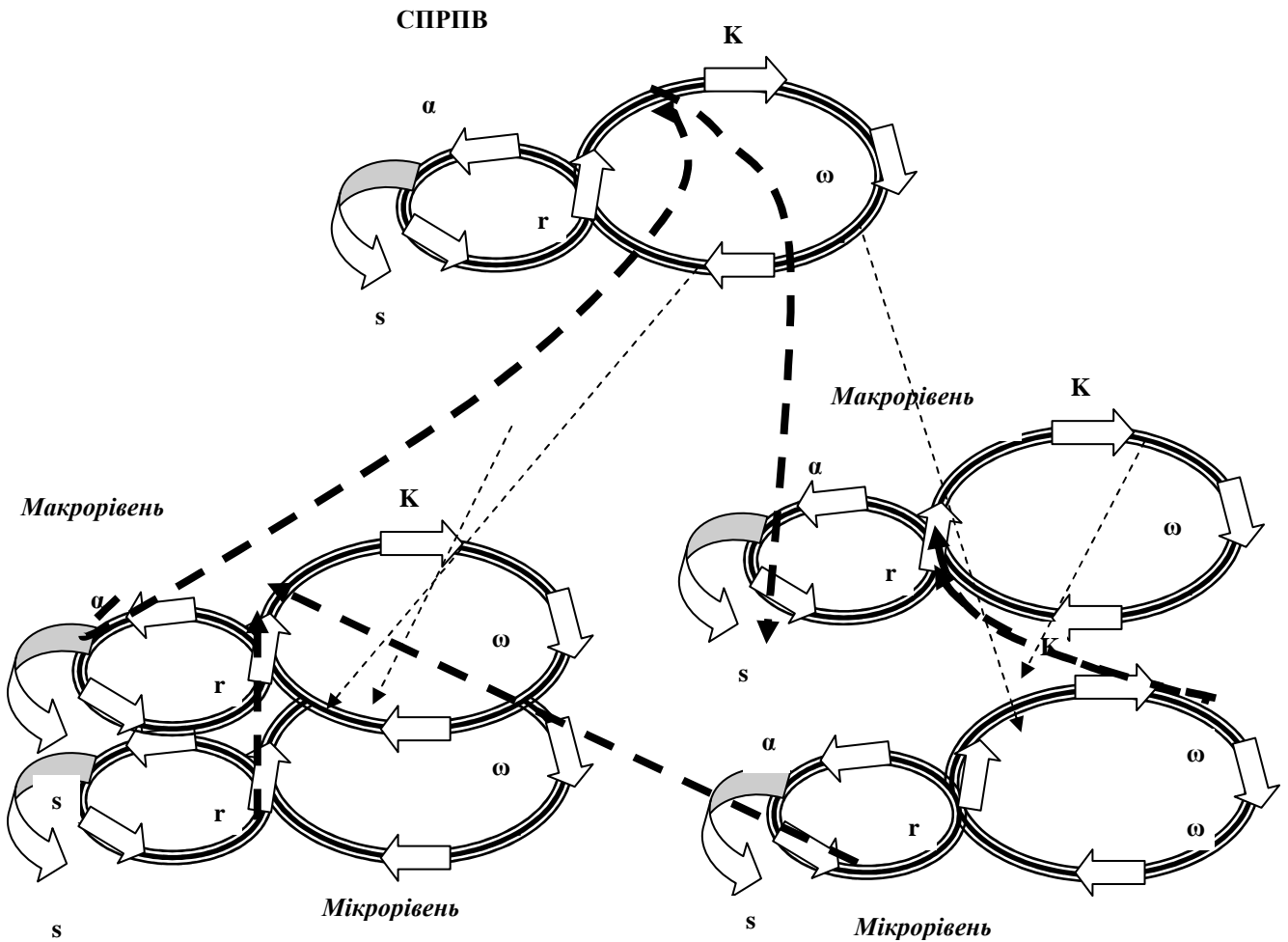


Рис. 2. Зв'язки між системами різних рівнів

Після певних перетворень цю модель можна представити у вигляді

$$x_{t+1} = rx_t(1 - x_t),$$

де $x_t = N_t \tilde{r} / [(1 + \tilde{r}K)]$; $r = 1 + \tilde{r}$, так що x_t виявляється безрозмірною величиною, яка характеризує популяцію.

Якщо наведену модель використати для виконання низки ітерацій, обираючи значення r в межах 3-4 і при цьому змінюючи початкові умови, можна отримати рішення у досить широких межах, які, з одного боку, не дозволяють однозначно прогнозувати результат («хаотичне» рішення), а з іншого – зазначають межі, в яких цей результат можна очікувати (рис. 3).

На рис. 3 видно, що для $r < 2$ спостерігається перший тип динамічної поведінки (стійкий стаціонарний стан – пряма лінія на діаграмі), в інтервалі $2,0 < r < 2,69$ реалізуються різні граничні цикли, починаючи з періоду 2 (дві, чотири чи більше ліній на діаграмі). При подальшому збільшенні r виникають хаотичні режими (значення x_n хаотично заповнюють певний інтервал), які чергуються з так званими r -вікнами, в яких

спостерігаються граничні цикли. Кожне r -вікно характеризується своїм головним граничним циклом, який має найменший період. Цей граничний цикл дає змогу визначити межі, в середині яких система поводить певним чином передбачувано, що дозволяє оцінювати достовірність даних конкретних вимірювань.

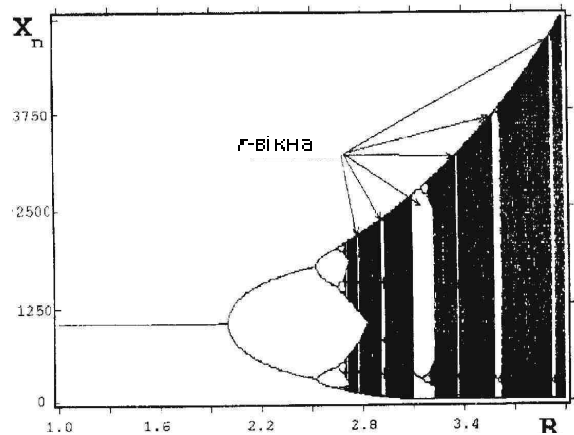


Рис. 3. Біфуркаційна діаграма динаміки популяцій: R – мальтузіанський параметр; X_n – стан системи для значень n , що перевищують певну величину N , яка має значення дискретного часу, протягом якого відбуваються перехідні процеси і динаміка системи виходить на стаціонарний режим

Висновки

Розгляд СПРПВ та її складових як фрактальних структур, що функціонують на тлі «хаосу», дозволяє, з одного боку, зрозуміти процеси і зв'язки, а з іншого – виявити граничні межі, в яких ці процеси та зв'язки можуть існувати.

Наведена вище модель функціонування СПРПВ як складної системи не суперечить основним економічним, соціальним та фізичним законам і сприяє більш глибокому розумінню процесів, що виникають у надрах системи, та дає змогу оперативної шукати і знаходити шляхи забезпечення максимальної ефективності системи в реальних умовах.

Список літератури

1. Олексієнко М.М. Проактивний підхід до управління екологічними проектами [Текст]: зб. наук. пр. / Управління розвитком складних систем. – К.: КНУБА, 2013. - №14. - С.68-71.
2. Заець Р.В. Концепція екоустойчивого развития и проблемы системного обновления науки и инноватики: материалы международной научно-технической конференции [«Системный анализ и информационные технологии САИТ-2011»] / Р.В. Заець – (Київ, 2011).
3. Вишневецький В.І. Детермінований хаос, глибина і точність прогнозу функціонування складних систем [Текст] / В.І. Вишневецький та ін. // Вісник НТУ МОНУ. – 2004. - №9. - С. 43-47.
4. Holling C.S. Understanding the Complexity of Economic, Ecological and Social Systems [Text] / C.S. Holling // Ecosystems. – 2001. - №4. – С.390-405.
5. Евдокимов Е.В. Детерминированный хаос как фактор биологической эволюции [Текст] / Е.В. Евдокимов, А.В. Шаповалов [Электронный ресурс]. – <http://www.bibl.nashaucheba.ru>.
6. Кронвер Р.М. Фракталы и хаос в динамических системах. Основы теории [Текст] / Р.М. Кронвер. – М.: Постмаркет, 2000. - 352 с.
7. Александров П.С. Введение в теорию множеств и общую топологию [Текст] / П.С. Александров. – М.: Наука, 1977. – 368 с.
8. Baranovskyi O.M. Content monitoring as a new trend in quantitative evaluation of changes in social processes: материалы международной научно-технической конференции [«Системный анализ и информационные технологии САИТ-2011»] / О.М. Baranovskyi – (Київ, 2011).
9. Hastings A. Chaos in Ecology: Is Mother Nature a Strange Attractor? [Text] / A. Hastings, C.L. Hom, S. Ellner, P. Turchin, H.C.L. Godfray // Ann. Rev. Ecol. Syst. – 1993. – № 24. – С.1-33.
10. Єремєєв І.С. Проблеми прийняття рішень в умовах невизначеності під час моніторингу довкілля: матеріали міжнародної науково-технічної конференції [«Системний аналіз і інформаційні технології САИТ-2008»] / І.С. Єремєєв – (Київ, 2008).

References

1. Oleksienko, M.M. (2013) Proactive approach to managing environmental projects. Management of complex systems. Kyiv, Ukraine: KNUCA, 14, 68-71.
2. Zaets, R.V. (2011). SCP concept development and systemic issues of science and innovation updates: materials science conf. "System Analysis and Information Technology", Kyiv, Ukraine.
3. Vyshnevetsky, V.I. (2004). Deterministic chaos, depth and accuracy of prediction of complex systems. Herald NTU MESU. Kyiv, Ukraine: NTU, 9, 43-47.
4. Holling, C.S. (2001). Understanding the Complexity of Economic, Ecological and Social Systems. Ecosystems, 4, 390-405.
5. Yevdokimov, Y.V. Deterministic chaos as a factor in biological evolution [electronic source]. <http://www.bibl.nashaucheba.ru>.
6. Kronover, R.M. (2000). Fractals and chaos in dynamical systems. Fundamentals of the theory. Moscow, Russia: Postmarket, 352 p.
7. Aleksandrov, P.S. (1977). Introduction to set theory and general topology. Moscow, Russia: Science, 368 p.
8. Baranovskyi, O.M. (2011). Content monitoring as a new trend in quantitative evaluation of changes in social processes: materials science conf. "System Analysis and Information Technology", Kyiv, Ukraine.
9. Hastings, A. (1993). Chaos in Ecology: Is Mother Nature a Strange Attractor? Ann. Rev. Ecol. Syst., 24, 1-33.
10. Yermeev, I.S. (2008). Decision making under uncertainty during environmental monitoring: materials science conf. "System Analysis and Information Technology", Kyiv, Ukraine.

Стаття надійшла до редакції 03.02.2014

Рецензент: д-р техн. наук, проф. С.С. Огородник, Київський державний університет управління та підприємства, Київ.