

УДК 005.8

DOI:

Колесніков О.Є., к. т. н., доцент, ORCID: 0000-0002-0666-0742,
кафедра Управління системами безпеки життєдіяльності,
Одеський національний політехнічний університет.

Олех Г.С., аспірант, ORCID: 0000-0002-7033-8504
Одеський національний політехнічний університет

Метод оцінки рівня досконалості освітньої системи за допомогою ланцюгів Маркова

О.Є. Колесніков, Г.С. Олех. Метод оцінки рівня досконалості освітньої системи за допомогою ланцюгів Маркова. Розроблений математичний опис системи оцінки рівня досконалості освітньої системи, який відображає можливі стани проектної системи. Створена Модель 5Н (Неадовільно – Нижче норми – Норма – Нормативи перевищені – Набагато вище норми) дозволяє будувати траєкторії розвитку системи по кроках за різних початкових умов і технологічної зрілості системи, що дозволяє перейти від якісних до кількісних оцінок проектів.

Ключові слова: система, стани, досконалість, рівень, траєкторія, ланцюг Маркова.

А.Е. Колесников, Г.С. Олех. Метод оценки уровня совершенства образовательной системы с работодателем с помощью цепей Маркова. Разработано математическое описание системы оценки уровня совершенства образовательной системы, которая отражает возможные состояния проектной системы. Созданная модель 5Н (неприемлемо - ниже нормы - норма - нормативы превышены - гораздо выше нормы) позволяет строить траектории развития системы по шагам при различных начальных условиях и технологической зрелости системы, что позволяет перейти от качественных к количественным оценкам проектов.

Ключевые слова: система, состояния, совершенство, уровень, траектория, цепь Маркова.

O.E. Kolesnikov, H.S. Olekh. A method of assessing the level of excellence of the educational system with the help of Markov chains. A mathematical description is developed of the system of assessment of the level excellence of the educational system, which reflects the possible states of the project system. Created Model 5H (Poor - Lower Norms - Norms - Norms Exceeded - Much Above Norms) allows you to build system trajectories step by step at different initial conditions and technological maturity of the system, allowing you to move from qualitative to quantitative project estimates.

Keywords: system, states, perfection, level, trajectory, Markov chain.

1. Вступ і загальна характеристика проблеми

Розв'язання протиріч між вимогами щодо ефективності систем планування та управління ЗВО і завданнями підтримки прийняття управлінських рішень можливо за рахунок використання інформаційних систем [1]. Відомі математичні моделі не дозволяють відтворити недоступні для безпосереднього вимірювання параметри систем [2]. Дослідження мають наукове й практичне значення, оскільки вони спрямовані на розв'язання актуальної проблеми щодо створення зворотного зв'язку між об'єктом управління і спільнотою зацікавлених сторін [3].

2. Аналіз літературних даних та постановка проблеми

Відображення за допомогою ланцюгів Маркова технічних або соціальних систем ґрунтується на структурній і параметричній подібності оригіналів цих систем їхнім відображенням - марківським моделям [4].

Особливості реалізації парадигми «навчання упродовж життя» досліджено завдяки когнітивним властивостям ланцюгів Маркова у статті [5]. У роботі [6] за допомогою марківської моделі представлена організаційно-технічна система зміни станів пацієнтів в проектах надання медичних послуг. Загальні питання моделювання складних організаційно-технічних систем з використанням марківських моделей висвітлено в роботі [7]. Можна також відмітити ефективність використання марківських моделей для оцінки якості діяльності навчального закладу [8].

Вказані приклади об'єднують наявність декомпозиції досліджуваних систем на певні дискретні стани з побудовою графу переходів між цими станами. Відмінності вказаних моделей проявляються у різних підходах щодо визначення умовних перехідних ймовірностей між дискретними станами. Тобто, ідентифікація ланцюгів Маркова з дискретними станами і часом для відображення різних об'єктів визначається способами обчислення перехідних ймовірностей [9]. У науковій практиці застосовуються такі методи визначення перехідних ймовірностей: експериментальний, експертний та когнітивний [10].

3. Метод оцінки рівня досконалості освітньої системи

Прийmemo гіпотезу, що ступінь досконалості будь-якого освітнього середовища (освітньої системи) може бути відображена за допомогою узагальненого показника якості, Під ступенем досконалості будемо розуміти рівень визначеності подій або умов, настання яких негативно або позитивно позначається на цілях діяльності [11]. Причиною виникнення невизначеностей в ЗВО може бути множина факторів. Оцінка ступеня досконалості для таких систем, як правило, може бути виконана тільки за допомогою феноменологічних відображень у формі залежності «вхід – вихід». При цьому не встановлюються внутрішні механізми взаємодії елементів системи. Одним з таких підходів реалізують ланцюги Маркова.

Представимо модель оцінки рівня досконалості освітнього середовища у формі п'яти дискретних станів, які відповідають можливим ймовірнісним оцінкам рівня досконалості системи [12]:

- D_1 – незадовільно;
- D_2 – нижче норми;
- D_3 – норма;
- D_4 – нормативи перевищені;
- D_5 – набагато вище норми.

Роз'яснення щодо характеристики ступенів досконалості показників функціонування навчальних закладів для кожного з станів наведено в табл. 1.

Таблиця 1 - Ступені досконалості показників функціонування ЗВО

Ступінь досконалості	Характеристика стану у моделі 5Н	Бал	Стан
Нема формального підходу (незадовільно)	Немає системного підходу, немає результатів, низькі або не прогнозовані результати	1	D ₁
Реагуювальний підхід (нижче норми)	Реактивне управління для усунення проблем чи коригування, є мінімальні дані про результати стосовно поліпшення	2	D ₂
Стабільний формальний системний процес (норма)	Системний підхід, початкова стадія систематичних поліпшень, наявні дані про відповідність цілям. Існують тенденції до поліпшення стану	3	D ₃
Постійне поліпшення (нормативи перевищені)	Застосовують процес поліпшення, наявні добрі результати, існують тенденції до поліпшення	4	D ₄
Найкращі показники (набагато вище норми)	Активно інтегрований процес поліпшення, наявні позитивні результати при зіставленні з відомими еталонами	5	D ₅

Для оцінки рівня досконалості системи за всіма показниками і складовими процесів з урахуванням вимірювань застосовується шкала, що вербально описує п'ять впорядкованих рівнів досконалості або стадій поліпшення показників якості діяльності ЗВО та їх складових. Цим п'ятьом рівням досконалості поставлена у відповідність 5-ти бальна числова шкала (табл. 1).

Покращення в системі, що феноменологічно проявляється в переходах показників з одного рівня досконалості до наступного, вищого, здійснюється за допомогою різних методів і прийомів застосування принципів управління та пошуку заходів постійного поліпшення процесів і технологій навчання. Перехід з одного рівня досконалості на інший значною мірою визначається якістю діяльності ЗВО і залежить від того, якою мірою замовник задоволений всіма характеристиками освітньої діяльності закладу взагалі, і кожним показником окремо.

Оцінювання діяльності ЗВО розвивається як випадковий процес, хід і результат, якого залежать від ряду випадкових чинників, що впливають на його показники і загальні результати діяльності.

У першому наближенні рівні досконалості d_i можна виразити як відношення q_i - фактичного рівня задоволення потреб споживачів, до q_N - нормативного показника, визначеного освітньо-кваліфікаційною характеристикою фахівця:

$$d_i = \frac{q_i}{q_m}, \quad (1)$$

де i — індекс показника діяльності ЗВО, $i = 1, 2, \dots, m$.

Граф станів проектної системи є сукупністю вершин - станів і множини ребер – переходів між станами (рис. 1), що є основою для побудови ланцюга Маркова.

4. Побудова ланцюга Маркова

Модель 5Н (Неадовільно – Нижче норми – Норма – Нормативи перевищені – Набагато вище норми) дозволяє виконати якісну оцінку ефективності діяльності ЗВО у різних напрямках і розробляти раціональну стратегію поліпшення певного показника до більш високого рівня досконалості. Ймовірна сутність моделі 5Н може бути відображена за допомогою ланцюгів Маркова, яким властиве те, що для кожного моменту часу t_0 ймовірність будь-якого стану показника у майбутньому при $t > t_0$ залежить тільки від стану при $t = t_0$ і не залежить від того, коли і яким чином система прийшла в цей стан. Вказаною властивістю володіють стани моделі, приведені на рис. 1.

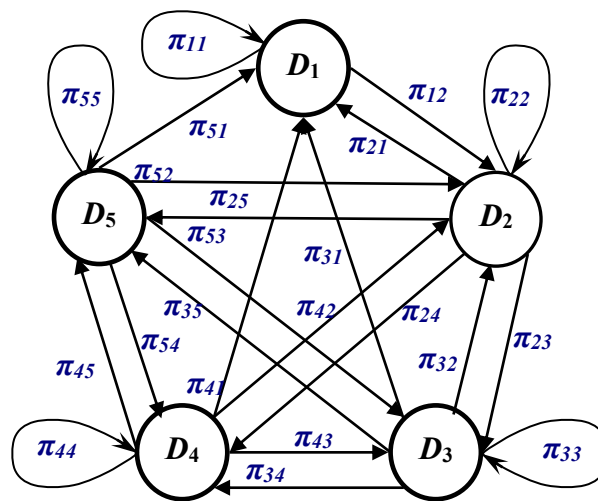


Рисунок 1 – Розмічений граф марківського ланцюга, що відображає рівні досконалості ЗВО з переходами оцінок ступеня рівнів досконалості між станами системи

Для побудови марківської моделі переходів оцінок ступеня досконалості показників функціонування ЗВО, як станів системи, зазначимо основні переходи між цими станами (рис. 1). Через D_i позначені можливі ступені досконалості показників системи, що може бути наслідком проведення певних заходів з поліпшення системи.

Опишемо однорідний ланцюг Маркова з дискретними станами і дискретним часом, що змінюється по кроках і обчислюється за допомогою методу ймовірності станів [13]. Під кроком розумітимемо деякий комплекс реалізованих заходів-дій на об'єкт, який змінює показник D [14].

Нехай у будь-який момент часу t (після будь-якого k -го кроку) показник D може бути в одному із станів: $D = \{D_1, D_2, \dots, D_n\}$, тобто здійсниться одне з повної групи несумісних подій: $D_1^{(k)}, D_2^{(k)}, \dots, D_n^{(k)}$. У такому випадку рівень досконалості D організації навчального процесу у ЗВО може змінюватись на кожному кроці k

$$D = \{p_1(k), p_2(k), p_3(k), p_4(k), p_5(k)\}. \quad (2)$$

Позначимо ймовірність знаходження об'єкта у станах j : $j = 1, \dots, n$ у моменти завершення кроків k :

У марківському ланцюзі зі зміною часу (кроку k) розподіл ймовірностей станів $\{p_1(k), p_2(k), \dots, p_m(k)\}$ змінюється. При цьому обчислення розподілу ймовірностей на кожному наступному $(k+1)$ кроці виконується за відомою формулою повної ймовірності [14]:

$$\begin{pmatrix} p_1(k+1) \\ p_2(k+1) \\ p_3(k+1) \\ p_4(k+1) \\ p_5(k+1) \end{pmatrix}^T = \begin{pmatrix} p_1(k) \\ p_2(k) \\ p_3(k) \\ p_4(k) \\ p_5(k) \end{pmatrix}^T \cdot \begin{pmatrix} \pi_{1,1} & \pi_{1,2} & 0 & 0 & 0 \\ \pi_{2,1} & \pi_{2,2} & \pi_{2,3} & \pi_{2,4} & \pi_{2,5} \\ \pi_{3,1} & \pi_{3,2} & \pi_{3,3} & \pi_{3,4} & \pi_{3,5} \\ \pi_{4,1} & \pi_{4,2} & \pi_{4,3} & \pi_{4,4} & \pi_{4,5} \\ \pi_{5,1} & \pi_{5,2} & \pi_{5,3} & \pi_{5,4} & \pi_{5,5} \end{pmatrix} \quad (7)$$

де T – знак транспонування; π_{ij} – перехідні ймовірності.

Отже, якщо задана матриця перехідних ймовірностей $\|\pi_{ij}\|$ і відомий початковий розподіл ймовірностей станів $\{p_1(k), p_2(k), \dots, p_m(k)\}$ на кроці k , то новий розподіл ймовірностей станів $\|p_i(k+1); i = 1, 2, \dots, m\|$ можна знайти використовуючи залежність (7).

Залежність (7) з визначеною матрицею переходів (6) дозволяє створити прогноз станів системи на декілька кроків вперед. Ланцюг Маркова дозволяє моделювати стан рівня досконалості системи у залежності від тих або інших впливів на різні показники освітнього середовища. Для цього достатньо задати збурення (дію) відповідної ймовірності у матриці переходів $\|\pi_{ij}\|$, щоб оцінити наслідки різних управлінських дій на оцінку якості діяльності ЗВО. Під дією управлінських, інвестиційних заходів, маркетингових досліджень або впровадження новітніх освітніх технологій, значення показника може або покращитися, або стати гіршим, або залишитися таким же. Припустимо, що за певним показником спостерігається погіршення діяльності ЗВО. За допомогою марківської моделі можна визначити проблемні ймовірності переходу π_{ij} , які характеризують недостатній ступінь дії на показник. З урахуванням розробленої залежності зміни ймовірностей переходів визначаються за [].

Отримані ймовірності всіх результатів проведеного комплексу дій дозволяють прогнозувати ефективність діяльності ЗВО.

На рис. 2 приведено приклад результатів моделювання станів системи для матриці перехідних ймовірностей:

$$\|\pi_{i,j}\| = \begin{pmatrix} 0,25 & 0,75 & 0 & 0 & 0 \\ 0,10 & 0,40 & 0,30 & 0,10 & 0,10 \\ 0,10 & 0,20 & 0,40 & 0,20 & 0,10 \\ 0,10 & 0,15 & 0,20 & 0,45 & 0,10 \\ 0,10 & 0,20 & 0,25 & 0,30 & 0,15 \end{pmatrix} \quad (8)$$

Рівень технологічної зрілості ЗВО в координатах оцінок досконалості системи можна дослідити на протязі декількох кроків. На рис. 2 показано зміни станів для 15 кроків траєкторії розвитку системи. Результати показують, що ймовірність перебування показника в незадовільному стані достатньо швидко зменшується, досягаючи мінімального значення (крива – 1, рис. 2).

Ймовірність стану, при якому показник знаходиться в стані «нижче норми» (крива – 2), спочатку збільшується до максимуму, а потім зменшується за рахунок недостатнього впливу на цей показник ефективних дій.

Ймовірність стану, при якому показник знаходиться в стані «норма» (крива – 3) плавно змінюється: до 4-го кроку вплив дій збільшується, а потім значення ймовірності стану 3 приймає деяке постійне значення. Тому після 4 кроку можна припинити вплив на цей показник.

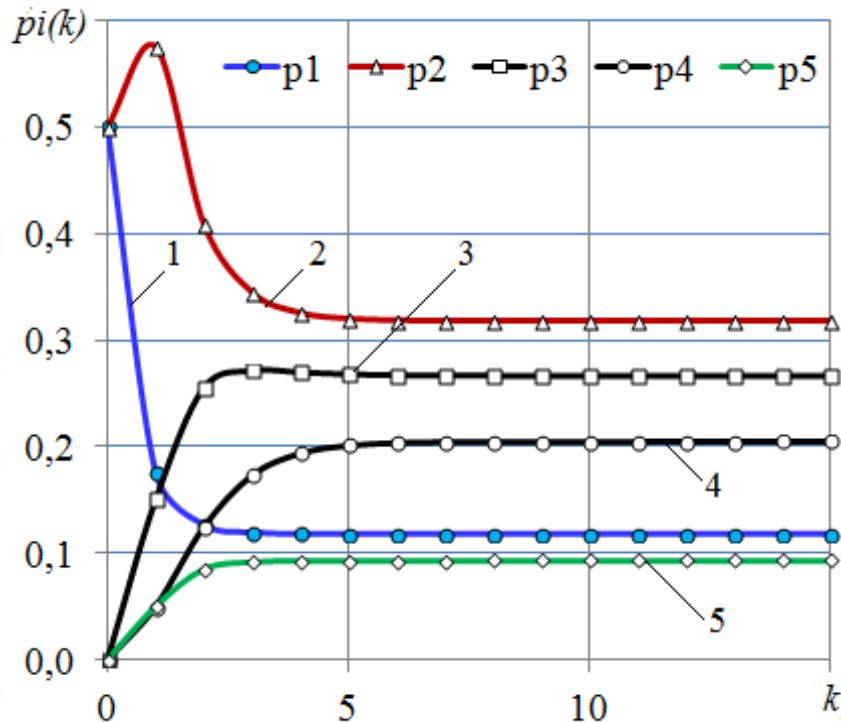


Рисунок 2 – Розвиток ЗВО в координатах оцінок ймовірності рівня досконалості $p_i(k)$ і кроках k : 1 – незадовільно; 2 – нижче норми; 3 – норма; 4 – нормативи перевищені; 5 – набагато вище норми

Крива 4 – ймовірність стану показника «нормативи перевищені» має тенденцію на покращення ймовірності стану з кожним кроком управляючих дій, та через деякий час показник приймає постійне значення.

Крива 5 відображає ймовірність стану показника «набагато вище норми» від кроків ефективних дій і показує, що ймовірність переходу показника в цей стан після ряду заходів суттєво не збільшується, приймаючи невелике постійне значення.

Отримані результати підтверджують можливість якісної оцінки рівня досконалості ЗВО з використанням моделі 5Н. Залежності що наведено на рис. 2 відображають розподіл ймовірностей станів, який є характерним для загальної оцінки «нижче норми», оскільки на 15 кроці існує співвідношення: $p_2(15) > p_3(15) > p_4(15) > p_5(15)$. Для такого розподілу ймовірностей станів найбільш ймовірним є рівень досконалості ЗВО – «нижче норми».

У разі формування нової матриці ймовірностей, з іншими елементами матриці $\|\pi_{ij}\|$, отримуємо дані, що показані на рис. 3.

Нова матриця перехідних ймовірностей (9):

$$\|\pi_{i,j}\| = \begin{pmatrix} 0,25 & 0,75 & 0 & 0 & 0 \\ 0,10 & 0,25 & 0,40 & 0,10 & 0,15 \\ 0,10 & 0,20 & 0,45 & 0,20 & 0,05 \\ 0,03 & 0,07 & 0,10 & 0,60 & 0,20 \\ 0,03 & 0,05 & 0,07 & 0,10 & 0,75 \end{pmatrix}. \quad (9)$$

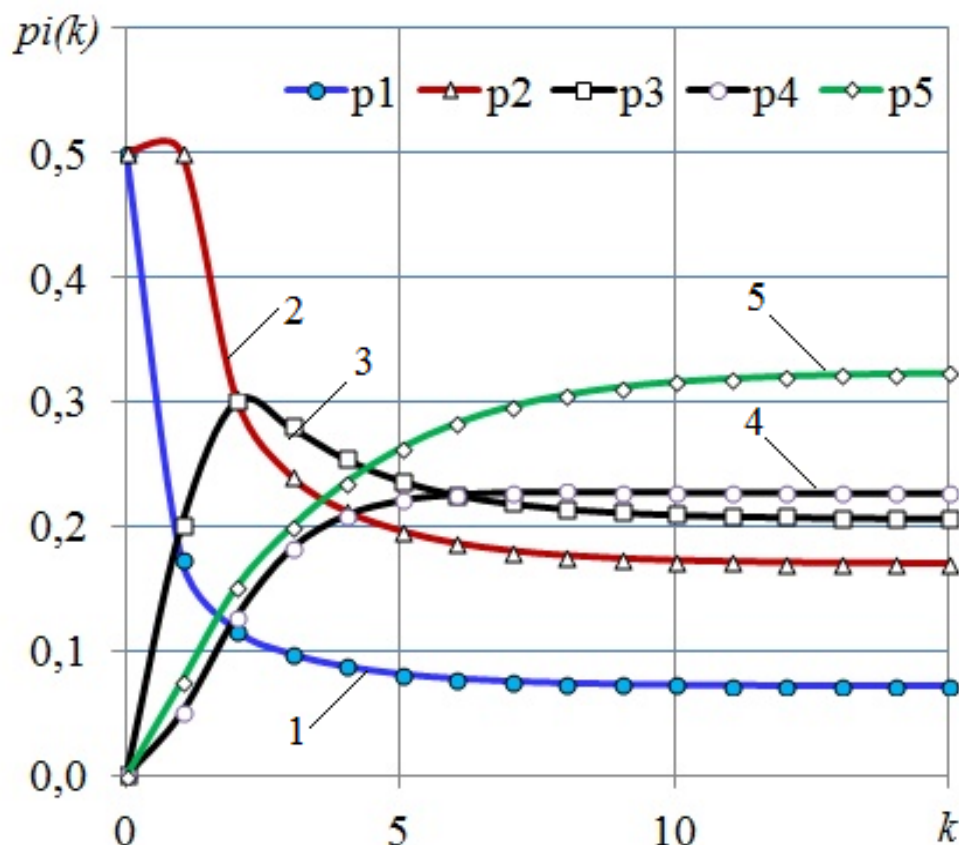


Рисунок 3 – Розвиток ЗВО в координатах оцінок ймовірності рівня досконалості $p_i(k)$ і кроках k для зміненої матриці переходів: 1 – незадовільно; 2 – нижче норми; 3 – норма; 4 – нормативи перевищені; 5 – набагато вище норми

Матриця (9) характеризує ситуацію, коли перехідні ймовірності $\pi_{5,1}$ і $\pi_{5,2}$ близькі до нуля. Тобто показник діяльності ЗВО не переходить у незадовільний стан. В цьому випадку існує ймовірність перевести його в позитивний стан, та з кожним кроком управляючих дій ця ймовірність буде збільшуватись: крива 5 – «набагато вище норми» (рис. 3).

4. Висновки

Отримані результати дозволяють запропонувати метод удосконалення діяльності ЗВО на основі прогнозування стану показників якості його діяльності із застосуванням моделі 5Н. Для визначення раціонального комплексу дій можна прогнозувати вплив цих дій на показники досконалості за допомогою марківської моделі 5Н.

Розроблений метод оцінки результативності ряду випадкових факторів, які

супроводжують показники, може використовуватися в системах оцінки діяльності ЗВО. Запропонований підхід дозволяє моделювати параметри якісних дій, направлених на покращення рівня досконалості кожного показника.

Розроблений метод відображення ймовірностей станів досконалості проектних систем може бути рекомендований для інших систем [17 ... 26].

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Lukianov Dmytro, Kolesnikova Kateryna, Kolesnikov, Olexii, Sherstyuk, Olga. Project manager job description as one of project management key success factor. *Herald of Advanced Information Technology*. 2019; Vol.2 No.3, - P215 – 228
2. Литвинова, С.Г., Биков, В.Ю., Мельник, О.М. Effectiveness of education with electronic educational game resources in primary school. *Інформаційні технології і засоби навчання*, 2017. 6 (62). pp. 34-46. <https://journal.iitta.gov.ua/index.php/itlt/article/view/1937>
3. Биков В. Ю. Моделі організаційних систем відкритої освіти: Монографія. - К.: Атіка, 2008.- 684 с:
4. O. Kolesnikov, V. Gogunskii, K. Kolesnikova, D. Lukianov, T. Olekh Development of the model of interaction among the project, team of project and project environment in project system. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2016. № 5/9(83). 20–26.
5. Gogunskii, V., Kolesnikov, A., Kolesnikova, K., Lukianov, D. "Lifelong learning" is a new paradigm of personnel training in enterprises. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2016. № 4/2 (82). 4 – 10.
6. Руденко, С. В., Романенко, М.В., Катуніна О.Г., Колеснікова, Е.В. Розробка марківської моделі зміни станів пацієнтів в проектах надання медичних послуг. *Управління розвитком складних систем*. 2012. № 12. 86 – 89.
7. Власенко, Е.В., Лукьянов, Д.В., Гогунский, В.Д. Модель «Діамант» оцінки внутрішніх комунікацій в Європейських проектах. *Вост.-Европ. журнал передових технологій*. № 1/10 (61). Харків : Технолог. центр, 2013. 86 – 88.
8. Колеснікова, К. В., Гловацька, С.М, Руденко, С.В. Моделювання стратегічного управління міжнародною діяльністю університету. *Проблеми техніки*. № 1. 2013. 95- 101.
9. Kolesnikova, K., Lukianov, D., Gogunskii, V., Iakovenko, V., & etc. Communication management in social networks for the actualization of publications in the world scientific community on the example of the network researchgate *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2017. № 4/3 (88). 27-35. DOI: 10.15587/1729-4061.2017.08589
10. Олех, Т. М., Оборская, А. Г., Колесникова, Е. В. Методы оценки проектов и программ *Тр. Одес. политехн. ун-та*. 2012. № 2 (39). 213-220.
11. Керівництво з управління інноваційними проектами та програмами. Р2М . Том 1 , Версія 1.2: пров. з англ. / Під ред. проф. С.Д. Бушуєва. - К. : Наук. світ, 2009. – 173 с.
12. Making a European Area of Lifelong Learning a Reality. [Electronic resource]. Commission of the European Communities. Brussels, 2001. – P. 40. Available at: http://aei.pitt.edu/42878/1/com2001_0678.pdf (Accessed: 02.02.2016).
13. Лук'янов, Д. В., Беспанська-Павленко, К. Д., Гогунський, В. Д., Колесніков, О. Є., Москалюк, А. Ю., Дмитренко, К. М. Development the markovs model of the project as a system role communications team. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2017. № 3/3 (87).
14. Гогунский, В. Д., Бочковский, А. П., Москалюк, А.Ю., Колесников, А. Е., Бабюк, С.Н. Розробка системи ініціювання проектів з використанням марківського ланцюга. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2017. № 1/3 (85). 25-32.
15. Carboni, J., Young, M., Milsom, P.& Gonzalez, M.The GPM®Global P5™ Standard forSustainabilityin Project Management. Ver. 1.5. GPM Global. 2016. 43. URL: <https://www.greenprojectmanagement.org/the-p5-standard>.

16. Колеснікова, К. В., Олех, Т. М. Матричная диаграмма и «сильная связность» индикаторов ценности в проектах. *Электротехнические и компьютерные системы*. № 7(83). К. : Техніка, 2012. 148-153.
17. Колеснікова, Е. В. Оценка компетентности персонала сталеплавильной печи в проекте компьютерного тренажера. *Вост.-Европ. журнал передовых технологий*. 2013. № 5/1 (65). 45-48.
18. Колеснікова, Е. В. Моделирование структур управления программами проектов в организационно-технических системах. *Вісн. Одеського нац. морського ун-ту*. 2014. № 1(40). 228-235.
19. Колеснікова, Е. В. Теория проектного управления: закон контроля параметров риска *Вісник Одеського національного морського університету*. 2013. № 3 (39). 220-232. DOI: doi.org\10.13140/RG.2.1.4849.0967
20. Колеснікова, Е.В., Лукьянов, Д.В., Шерстюк, О.И. Оценка эффективности командной работы на стадии инициации проектов. *Управління розвитком складних систем*. 2015. 21, 37-42
21. Колеснікова, Е.В. Оценка компетентности персонала сталеплавильной печив проекте компьютерного тренажера. *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*. 2013. № 5 (1/65). 45-48
22. Негри, А.А., Колеснікова, Е.В., Барчанова, Ю.С. Концепция проекта агрегирующей аналитической информационной системы для работы с наукометрическими базами данных. *Інформаційні технології в освіті, науці та виробництві*. 2013. № 4 (5). 52-56.
23. Оборський, Г. О., Гогунський, В. Д., Савельєва, О. С. Стандартизація і сертифікація процесів управління якістю освіти у вищому навчальному закладі. *Праці Одеського політехнічного університету*. 2011. № 1(35). 252-256. DOI: 10.13140/RG.2.1.1967.8169.
24. Otradskaya, T., Gogunskii, V. Development process models for evaluation of performance of the educational establishments. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies* 2016. № 3 (3/81). 12 – 22. DOI: 10.15587/1729-4061.2016.66562
25. Gogunsky, V.D., Kolyada, A.S., Iakovenko, V.O. Scientometric data scientific publication "Management of development of complex systems". *Management of development of complex systems*. 2014. №19. 6-11
26. Оборський, Г.О., Гогунський, В.Д. Нові тенденції і завдання щодо підготовки науковців вищої кваліфікації. *Інформаційні технології в освіті, науці та виробництві*. 2013. 1(2). 5-22 DOI: doi.org\10.13140/RG.2.1.3081.9286

Бібліографічний опис для цитування (посилання):

Колесніков О.Є., Олех, Г.С. Метод оцінки рівня досконалості освітньої системи за допомогою ланцюгів Маркова. *Матеріали наук.-метод. семінару «Шляхи реалізації кредитно-модульної системи організації навчання»*. 2018. Вип. 15. 23-32.