

DOI: [10.32702/2307-2105-2022.2.75](https://doi.org/10.32702/2307-2105-2022.2.75)

УДК 378

*А. В. Серіков,
к. ф.-м. н., професор,
викладач Харківського державного соціально-економічного коледжу
ORCID ID: 0000-0002-0629-2716*

СИНЕРГЕТИЧНЕ УПРАВЛІННЯ НАВЧАЛЬНИМ ПРОЦЕСОМ В СИСТЕМІ КРЕАТИВНОЇ ПЕДАГОГІКИ

*A. Sierikov
PhD in Physico-Mathematical Sciences, Professor, Lecturer,
Kharkiv State Socio-Economic College*

SYNERGETIC MANAGEMENT OF THE EDUCATIONAL PROCESS IN THE SYSTEM OF CREATIVE PEDAGOGY

Статтю присвячено пошуку математично обґрунтованих шляхів на яких стане можливою масштабна розбудова креативних освітніх технологій. Таке цільове спрямування викликано тим, що освіта людей, інвестиції в неї стали визначальним чинником забезпечення конкурентоспроможності суб'єктів господарювання будь-якого рівня. Між тим, повсюдно спостерігається явище недофінансування цих важливих інвестицій внаслідок послаблення державної підтримки виробництва так званих суспільних «опікуваних благ», до яких відносять і освіту людини. Для виправлення цієї ситуації необхідно опікуватися питаннями суттєвого підвищення продуктивності праці освітян, що потребує розробки і застосування в освітніх процесах виключно креативних підходів. Задля такого перебігу подій можна скористуватися відомою «спіральною моделлю створення знань» І. Нонака та Х. Такеучі. В даному дослідженні на основі згаданої моделі побудовано математичну модель системи «теоретико-практична діяльність/ професійна здатність» у вигляді системи нелінійних диференціальних рівнянь першого порядку. Візуалізація динаміки процесів в цій системі за допомогою пакету прикладних програм «Matematica» дозволила дійти висновку, що навчання людини стає ефективним при застосуванні синергетичного управління навчальним процесом. Виникає заздалегідь спланована самоорганізація, за рахунок якої реалізується редукція (зменшення) надлишкових ступенів вільності початкової системи «діяльність / здатність». Резюмуючи, можна стверджувати, що в даній роботі вперше запропоновано феноменологічну модель «навчально-виробнича діяльність / професійна здатність» у вигляді системи нелінійних диференціальних рівнянь, з подальшим її аналізом з позицій загальної теорії синергетичного управління складними системами. В результаті доведено, що за рахунок такого управління, передумовою якого є застосування технологій креативної педагогіки, в системі «навчально-виробнича діяльність / професійна здатність» можлива самоорганізація. Це дуже важливий результат як для теорії, так і для практики управління навчальним процесом, формування його потенціалу.

The article is devoted to the search for mathematically sound ways in which large-scale development of creative educational technologies will be possible. This goal is due to the fact that the education of people, investment in it has become a determining factor in ensuring the

competitiveness of businesses at any level. Meanwhile, there is a widespread phenomenon of underfunding of these important investments due to the weakening of state support for the production of so-called public "protected goods", which include human education. To remedy this situation, it is necessary to take care of the issues of significant increase in the productivity of educators, which requires the development and application of exclusively creative approaches in educational processes. One of the possible ones may be an approach based on the idea of developing and implementing technologies for the continuous formation of innovative thinking based on the theory of solving inventive problems by G. Altshuler. Of course, this becomes possible under the condition of a creative union of the student with the teacher, their collective work, in which education acquires an inventive character. The so-called "spiral model of knowledge creation" by Ikujiro Nonaka and Hirotaki Takeuchi can be used for this course of events. In this study, this model allowed us to build a mathematical model of the system "theoretical and practical activities / professional ability" in the form of a system of nonlinear differential equations of the first order. Visualization of the dynamics of processes in this system with the help of the application package "Matematica" allowed us to conclude that human learning by trial and error requires a lot of time and effort. The situation is significantly improved by the application of synergetic management of the educational process, due to which there is a pre-planned self-organization due to which the reduction (reduction) of excess degrees of freedom of the initial system "activity / ability". In summary, this paper proposes for the first time a phenomenological model of "training and production activity / professional ability" in the form of a system of nonlinear differential equations, followed by its analysis from the standpoint of general theory of synergetic control of complex systems. As a result, it is proved that due to such management, the prerequisite of which is the use of creative pedagogy technologies, in the system of "training and production activities / professional ability" self-organization is possible. This is a very important result for both theory and practice of learning management, the formation of its potential.

Ключові слова: *опікувані блага; хвороба цін; синергетичне управління; креативна педагогіка; діяльність; компетентність; математичне моделювання.*

Keywords: *protected goods; price disease; synergetic management; creative pedagogy; activity; competence; mathematical modeling.*

Формулювання проблеми. Загально визнаним є погляд на людину, яка виступає носієм так званого «людського капіталу» зі складовими у вигляді досвіду, знань, навичок здоров'я, здібностей та ін., як на визначальний фактор будь-якої діяльності. Засновники теорії людського капіталу Т. Шульц [1] і Г. Беккер [2] стверджували, що людський капітал формується за рахунок інвестицій в людину, її здоров'я, навчання, підготовку на виробництві та ін. Бо саме такі інвестиції стають визначальним чинником забезпечення конкуренто-спроможності суб'єктів господарювання будь-якого рівня [3: 4]. Але повсюдно спостерігається явище недофінансування цих важливих інвестицій внаслідок послаблення державної підтримки виробництва так званих суспільних «опікуваних благ», до яких відносять і освіту людини [5; 6]. Така поведінка представників державної влади пов'язана, можливо, із нерозумінням того, що державу необхідно персоніфікувати і розглядати як одного з суб'єктів ринку суспільних благ. Цей суб'єкт повинен поводити себе раціонально, відштовхуючись від таких інтересів суспільства, котрі неможливо звести до інтересів окремих індивідів. Наявність такої незвідності приводить до висновку про незалежність соціальної корисності від корисностей індивідуумів, які належать до соціуму. Власне, саме незалежність соціальної корисності перетворює державу в самостійного суб'єкта ринку [8, с. 44]. Таким чином, освітні послуги доцільно відносити до групи так званих «мериторних» благ, попит на які з боку приватних осіб відстає від «бажаного суспільством» і повинен стимулюватися державою [9, с. 295]. Тому саме державні органи влади повинні опікуватися питаннями належних інвестицій в людський капітал суспільства, який є визначальним чинником забезпечення глобальної конкурентоспроможності національної економіки [3, с. 231]. Так, у скандинавських країнах, які посідали перші місця в світових рейтингах рівня людського розвитку (на протязі 2005-2010 років), витрати на освіту складали понад 7 % від валового внутрішнього продукту [3, с. 232]. Українські можновладці, які сповідують принципи ліберального устрою економіки, постійно зменшують обсяги державної підтримки (на рівні 6 % до ВВП у 2017 році за даними Мінфіну України [10]), перекладаючи інвестиційний тягар на українське населення. В результаті виникає питання підвищення ефективності освітніх процедур в нашій країні, яким притаманні ознаки феномену із назвою «хвороби витрат» (або «хвороби цін»), виявлений У. Баумоєм і У. Боуеном [11]. Явище виникає в багатьох країнах світу за рахунок того, що зростання витрат на освіту (внаслідок доцільного підвищення заробітної плати освітянам з метою забезпечення їхньої життєздатності) не

підтримується адекватним зростанням продуктивності освітянських технологій [12, с. 64]. Підвищення продуктивності праці освітян стає актуальною проблемою, для успішного розв'язку котрої потребуються виключно креативні підходи.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Серед низки публікацій, що присвячені креативній педагогіці, можна вказати на статті [13; 14]. В першій роботі запропоновано розглядати синергетику як евристичний метод реалізації творчих процесів у педагогіці, продуктивно поєднуючи тим самим різні і суперечливі педагогічні ідеї, положення, концепції та таке інше. Друга стаття присвячена реалізації креативної педагогіки в межах технологій безперервного формування творчого мислення на базі теорії рішення винахідницьких завдань Г. Альтшулера. В роботі міститься опис системи курсів, спрямованих на формування та розвиток креативного мислення, починаючи з дошкільної освіти. Саме за таких умов може стати реалізація ідеї про створення принципово нових та ефективних освітніх технологій.

До *невирішених раніше частин* озвученої проблеми доцільно віднести відсутність будь-яких формалізованих (математичних) моделей управління педагогічними процесами, що дозволило б закласти основу для подальших прогнозів результатів пропонованої фахівцями діяльності.

Мета цієї статті - пошук математично обґрунтованих шляхів, на яких стане можливою масштабна розбудова креативних освітніх технологій.

Виклад основного матеріалу. Згідно з українським законодавством про освіту [15], остання є основою інтелектуального, духовного, фізичного і культурного розвитку особистості, її успішної соціалізації, економічного добробуту, запорукою розвитку суспільства, об'єднаного спільними цінностями і культурою, та держави. Перераховані якості виникають внаслідок цілеспрямованої діяльності. Тому освіта ще розуміється як єдиний процес фізичного і духовного становлення особистості, процес соціалізації, свідомо орієнтований на деякі ідеальні образи, на історично зафіксовані у свідомості соціальні зразки [16, с. 69]. Все перелічене базується на процесі цілеорієнтованого навчання, котрий в широкому сенсі включає до себе не тільки обмін знаннями, але й їх придбання та застосування [17, с. 96].

Традиційний процес навчання в освітніх закладах побудовано на пояснювально-ілюстративних методах. Випускник закладу отримує певні знання, вміння та навички, які орієнтовані на оперування конкретними об'єктами реальної дійсності або їх готовими моделями. Розумова діяльність учнів у процесі такого навчання спрямована на рішення спрощених, штучних навчальних завдань, а тому не отримує стимулу до розвитку мислення, необхідного для успішної взаємодії з реальними об'єктами та явищами [18]. Істотна зміна існуючої ситуації пов'язується з формуванням інноваційного мислення у тих, хто навчається. Таке формування, само по собі, доцільно відносити як певну модернізацію сучасної освіти. Серед основних технологій формування інноваційного мислення можна відзначити таку, що базується на теорії рішення винахідницьких завдань (ТРВЗ) Г. Альтшулера [18; 19; 20], яка спирається на принципи діалектичності (запереченні традиційної логіки), логічності, системності та уяви із фантазією. Суттю ТРВЗ є цілеспрямований пошук рішення серед альтернатив з подолання протиріч в завданні, суміщений з відбором з них сильних без суцільного перебору слабких. Зрозуміло, що таким освітнім технологіям необхідно навчатися. Навчатися пропонується на так званих задачах «відкритого типу» [21]. Такі завдання передбачають можливість застосування стандартних знань у нестандартній ситуації. При виконанні таких завдань учень може виявити здатність до логічного та абстрактного мислення, тобто вміння класифікувати, узагальнювати та проводити аналогії, прогнозувати результат, застосовуючи інтуїцію, уяву та фантазію. Завдання відкритого типу мають розмиту умову, з якої недостатньо ясно, як діяти, що використовувати при вирішенні, але уявляється зрозумілим потрібний результат. В цих завданнях передбачається різноманітність шляхів вирішення, які не є прямолінійними, рухаючись якими попутно доводиться долати виникаючі перешкоди. Варіантів рішень може бути багато, але немає поняття правильного рішення: рішення або застосовне до досягнення потрібного результату, або ні. Потребуються додаткові дослідження. Зрозуміло, що для їхнього формування знадобиться кваліфікована допомога вчителя, гуру, який в процесі формування інноваційного мислення у своїх учнів по-своєму теж навчається. Цей процес носить не індивідуальний, а груповий характер. Навчання, як таке, з-за багатократних повторень додаткових досліджень набуває винахідницького характеру. Такий перебіг подій нагадує так звану «спірально модель створення знань», що була розроблена Ікуджирою Нонака та Хіротакую Такеучі [22, с. 98].

Значимо, що метою будь-якого цілеорієнтованого навчання є формування здатності і готовності виконувати певну роботу (це звуть компетентністю [23, с. 59]). В якості показників певного рівня цілеорієнтованості (професійності) виступають всім відомі «знання», «вміння» та «навички», базою для яких є формалізовані та неформалізовані знання [22, с. 84]. Формалізоване, або кодифіковане, знання може розповсюджуватися завдяки використанню будь-якої мови (системи символів). Неформалізоване знання – особисте і залежить від ситуації його здобуття та прояву, а тому вкрай тяжко піддається формалізації та розповсюдженню (ознаки відображено у табл. 1). Між тим, обидва типи знань і визначають рівень професійності та компетентності, і обидва повинні бути задіяними в процесі навчання, трансформуючись одне в одне.

Таблиця 1. Ознаки двох типів знань *)

Неформалізоване знання (суб'єктивне)	Формалізоване знання (об'єктивне)
Отримане з досвіду (тіло)	Отримане з міркувань (душа)
Миттєве (тут і зараз)	Послідовне (там і тоді)
Аналогове (досвід)	Цифрове або кодифіковане (теорія)

*) Джерело: [22, с. 86]

Моделі взаємодії (або трансформації) обох типів знань зображено на рис. 1, з якого витікає висновок: здобуття цілеорієнтованої освіти – це результат безперервної динамічної взаємодії неформалізованого та формалізованого знань.

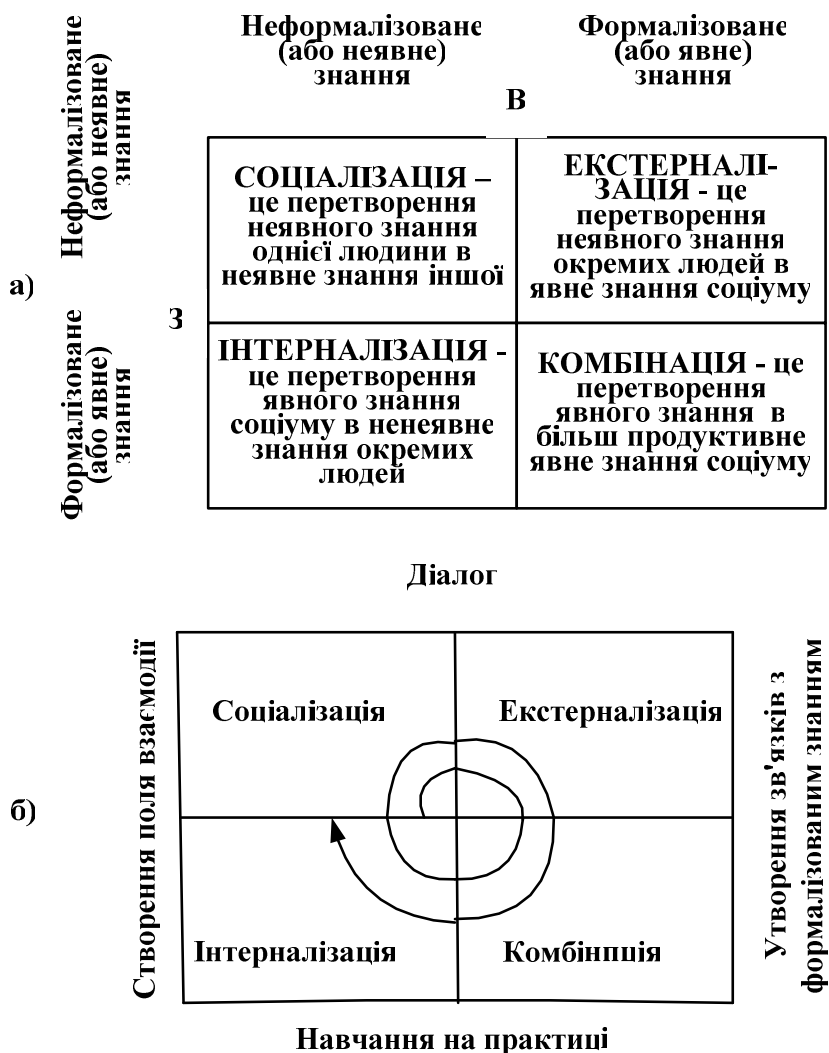


Рис. 1. Статична (а) та динамічна (б) моделі трансформації знання
(авторська розробка на базі [22, с. 88-99])

В процесі навчання людина набуває здатності виконувати певні цілеорієнтовані або професійні дії, тобто займатися професійною діяльністю, яка, в свою чергу, запускає наступний етап здобуття професійних знань, вмінь та навичок.

Нижче дослідимо динаміку формування професійних здатностей людини в процесі її навчання за допомогою економіко-математичного моделювання.

Поставимо завдання з дослідження сумісної динаміки обсягів певної навчально-виробничої (або теоретико-практичної) діяльності (надалі просто діяльності) та професійної здатності (надалі просто здатності) до виконання саме такої (цілеорієнтованої) діяльності.

Обсяг певної діяльності (в одиницях часу) будемо позначати виразом N_x , а обсяг здатності на виконання саме такої діяльності (в одиницях часу) - N_y .

Припускаємо, що є позитивна динаміка у обсягів певної діяльності та здатності до неї. За таких умов припущення обсягів діяльності ΔN_x за час Δt може бути пропорційним власне діяльності (бо її наслідки є суспільно-привабливими), тобто

$$\Delta N_x = \alpha \cdot N_x \cdot \Delta t, \quad (1)$$

де α - відображає швидкість зміни обсягів діяльності у відносних одиницях; при $\alpha > 0$ обсяг зростає, а при $\alpha < 0$ він убиває.

Скориставшись граничним переходом $\lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta N_x}{\Delta t} = \frac{d N_x}{dt} \equiv \dot{N}_x$, можна дійти до диференційного рівняння

$$\dot{N}_x = \alpha N_x, \quad (2)$$

яке може описувати динаміку певної діяльності. Приведемо це рівняння до безрозмірного вигляду, поділивши його на K - величину, що характеризує "ємність" максимально можливого обсягу певної діяльності, в якій може мати потребу суспільство, тобто $x = N_x / K$. Отримуємо:

$$\dot{x} = \alpha \cdot x \quad (3)$$

Якщо потреба «шукачів знання» може бути задоволена за рахунок приблизно однакових але різних видів діяльності, то із даним видом може конкурувати подібна, близька за своїми основними характеристиками діяльність. Ця конкуренція виявляється у акті зустрічі (зіткнення) зацікавленості «шукачів знання» в обох видах діяльності, котрий можна описати у вигляді добутку

$$x^{(1)} \cdot x^{(2)}, \quad (4)$$

де $x^{(1)}$ - обсяг основної в нашому уявленні діяльності (в одиницях часу), $x^{(2)}$ - обсяг альтернативної діяльності, що конкурує з першою (в одиницях часу). В подальшому ці види діяльності не будемо відрізняти між собою і тому будемо писати

$$x^{(1)} \cdot x^{(2)} \equiv x^2. \quad (5)$$

З урахуванням наведених міркувань запишемо

$$\dot{x} = \alpha \cdot x - \beta \cdot x^2, \quad (6)$$

де β - «ваговий» множник, показник процесу конкуренції попиту на подібні між собою види діяльності; тут другий доданок у дужках має знак «мінус», тому що процес конкуренції зменшує обсяги обраного виду діяльності. Рівняння (6) нагадує відоме з популяційної біофізики рівняння Ферхюльста-Пірла [24, С.18].

Врахуємо тепер, що використання професійних (цілеспрямованих) здатностей до виконання діяльності зменшують її обсяги. Якщо скористатися «механістичними» уявленнями, то можна припустити, що зменшення повинне бути пропорційним добутку величин обсягів діяльності з рівнем професійних здатностей y . З урахуванням наведених міркувань вираз (6) можна переписати у вигляді

$$\dot{x} = \alpha \cdot x - \zeta \cdot x \cdot y - \beta \cdot x^2 = P(x, y), \quad (7)$$

де $y = N_y / K$, ζ - показник ефективності або корисної дії від використання здатності для виконання діяльності.

Розмірковування, що подібні вище наведеним, приводять до рівняння динаміки рівня професійної (цілеспрямованої) здатності у вигляді

$$\dot{y} = -\eta \cdot y + \zeta \cdot x \cdot y = Q(x, y), \quad (8)$$

де η - характеризує швидкість втрати рівня професійної здатності до виконання певної діяльності за відсутності останньої. Таким чином, перша складова в правій частині цього диференційного рівняння описує процес втрати рівня професійної здатності за відсутності діяльності, а друга - процес росту професійної здатності за рахунок виконання певних обсягів обраної діяльності.

Диференційні рівняння (7) та (8) у сукупності описують динаміку взаємодії професійної здатності з обсягом певної діяльності, яка забезпечується цією здатністю. Дослідження такої динаміки дозволяє висвітлити можливі сценарії того, що відбувається в процесі набуття компетенцій (сукупності цілеорієнтованих знань, умінь та навичок).

Дослідити динаміку системи «діяльність/здатність», яка описується рівняннями (7) – (8), доцільно за допомогою методу фазової площини [25, С.17], який було використано автором в роботі [26]. Кожному стану вказаної динамічної системи «діяльність/здатність», що описується системою диференціальних рівнянь (7) – (8), відповідає пара значень (x, y) і навпаки. Декартова система координат, в котрій знаходять відображення всі стани (або фази) динамічної системи (7) – (8), зветься фазовою площиною. Точка $M(x, y)$ в ній - зображуючою точкою. Сукупність точок $M(x(t), y(t))$ на фазовій площині, положення котрих відповідає всім можливим станам системи «діяльність / здатність» з часом, зветься фазовою траєкторією. Сукупність останніх - фазовим портретом системи [26, С.19]. Дослідити останній можна за допомогою так званої якісної теорії диференціальних рівнянь [25; 26], інструменти візуалізації застосування якої є однією зі складових достатньо відомого пакету прикладних програм «*Matematica 7*». Нижче наведено фазові портрети досліджуваної системи «діяльність/здатність», які було побудовано за допомогою цього пакету.

На рисунку 2 візуалізовано результати досліджень динаміки взаємодії обсягів певної діяльності людини, що навчається, X та рівня здатності Y до такої діяльності при різних значеннях швидкості приросту α обсягів діяльності.

З рисунку видно, що не водночас досягається відповідність між змінними X та Y (про відповідність свідчать точки «стійкого фокусу», до яких «закручуються» фазові траєкторії), бо людина, що навчається, може йти до цього методом «проб та помилок». Тут також наочно виявляє себе так званий «ефект масштабу». Чим більше швидкість α приросту обсягів діяльності X , тим помітніше приріст здатності Y . Але витрати часу (про це свідчить кількість обертів зображуючої точки на її шляху до точки «стійкого фокусу») у всіх випадках достатньо помітні. Відповідність досягається за певний час, за який спіраль формування професійних здібностей людини, що навчається (рис. 1), зробить багато обертів.

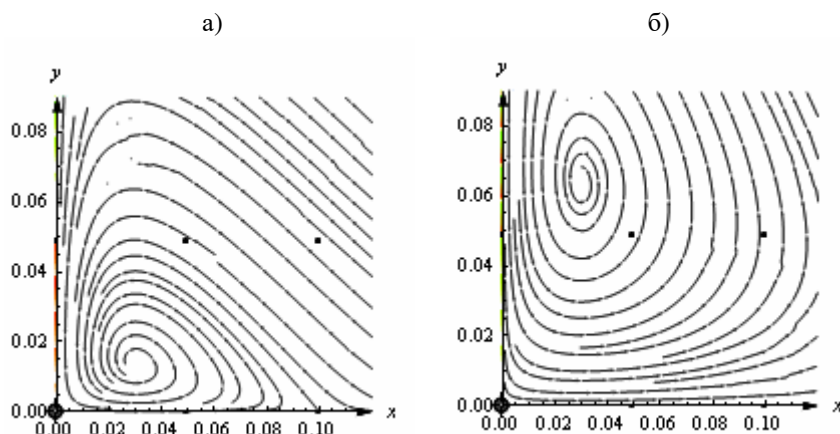


Рис. 2. Фазові портрети системи

$$\alpha \cdot x - 0,5 \cdot x \cdot y - 0,1 \cdot x^2 = 0; -0,015 \cdot y + 0,5 \cdot x \cdot y = 0;$$

при α , що дорівнює: а) 0,01; б) 0,035

(авторська розробка)

Виникає необхідність суттєвого зменшення цього часу, яку можна з за рахунок використання механізмів самоорганізації в системі «навчально-виробнича діяльність / професійна здатність». При цьому мова повинна йти не про спонтанну, а про цільову самоорганізацію, яку можливо досягти за рахунок так званого синергетичного управління, яке повинне будуватися на засадах креативного навчання, основні особливості якого надано в таблиці 2.

Таблиця 2.

Основні відмінності креативного підходу в освіті від традиційного ^{*)}

№ п/п	Критерії порівняння	Традиційний (нормативний) підхід	Креативний підхід
1	Філософія життєдіяльнос-ті навчального закладу та статус суб'єктів діяльнос-ті в навчальному закладі	Людина (учень, вчитель) – засіб реалізації програ-ми діяльності, вчитель го-ловна постать навчально-го закладу	Людина (учень) – тво-рець, головна дійова осо-ба та мета життєдіяльнос-ті навчального закладу
2	Устрій життєдіяльності навчального закладу	Не автономний, керований із зовні	Автономний, демократичний, дослідницький
3	Педагогіка навчального закладу	Авторитарна	Гуманістична, креативна
4	Мета навчального закладу	Сформувати фонд знань, умінь, навичок учня	Сприяти розвитку, вихо-ванню та учінню учня як необхідної умови саморе-алізації
5	Домінуючі методи навчання	Пояснювально-ілюстра-тивний	Частково-пошуковий, дослідницький
6	Домінуюча функція вчителя	Інформатор, експерт, консультант	Педагог-дослідник (фасилітатор) – помічник учня-дослідника
7	Домінуюча функція учня	Накопичувач знань, вмінь та навичок	Дослідник – здобувач, перетворювач знань, «першовідкривач»
8	Типи уроків	«Знаннєві» (зунівські)	«Дослідницькі» - відпо-відні етапам діяльності пошукача або науковця
9	Домінуючі психічні процеси	Пам'яті, уваги	Мислення, мова, почуття, увага, пам'ять...
10	Взаємодія вчителя і учня	Діалог відсутній	Системний діалог
11	Психологічний клімат	Стимульно-продуктивний та стимульно-репродуктивний	Творчий, продуктивний
12	Професійна орієнтація	На діяльність в типових нормативних умовах	На діяльність в невизна-чених, неординаних умовах

*) Джерело: [28, С. 36]

Синергетичне управління можливе лише за умов [29, с. 46]: (1) можливості руху системи в нелінійній області її простору; (2) відкритості системи, що забезпечує обмін енергією, речовиною та інформацією із зовнішнім середовищем; (3) когерентності процесів, що мають місце в системі; (4) притоку енергії до системи,

який повинен бути достатнім для встановлення та посилення порядку в ній; (5) можливості системи мати декілька шляхів еволюції на фінішних етапах її руху, які описуються типовими рівняннями відносно параметрів порядку. Все перелічене задовольняється для системи «діяльність / здатність».

«Підключення» відповідного управління трансформує математичну модель системи «діяльність / здатність» до вигляду

$$\left. \begin{aligned} \dot{x} &= \alpha \cdot x - x \cdot y - \beta \cdot x^2; \\ \dot{y} &= -\eta \cdot y + x \cdot y + u(x, y); \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

де $u(x, y)$ – закон управління (він повинен «працювати» в ланцюжку «екстерналізація \Rightarrow комбінація \Rightarrow інтерналізація»), який далі буде синтезовано за допомогою процедур аналітичного конструювання нелінійних агрегованих регуляторів (АКАР) по заданим інваріантним многовидам [29, с. 49], за рахунок чого у фазовому просторі виникне когерентний колективний рух або спрямована самоорганізація.

Для синтезу $u(x, y)$ введемо макрозмінну (за рекомендацією в [29, с. 119-123])

$$\psi(x, y) = \omega \cdot y - \mu \cdot x, \quad (10)$$

де μ та ω – показники (коефіцієнти) впливу на плановані обсяги навчально-виробничої діяльності X та рівень професійної здатності Y відповідно. Надалі вимагатимемо, щоб макрозмінна $\psi(x, y)$ задовольняла диференційному рівнянню

$$T\dot{\psi}(t) + \psi = 0, \quad (11)$$

де T – час, на протязі якого в досліджуваній системі повинні відбутися всі перехідні процеси, що згенеровані системою управління навчальним процесом.

Підставляючи (10) в (11) та враховуючи (9), получимо

$$u(x, y) = \frac{\mu}{\omega} \left(\frac{1}{T} + \alpha - \zeta \cdot y - \beta \cdot x \right) \cdot x - \left(\frac{1}{T} - \eta + \zeta \cdot x \right) \cdot y. \quad (12)$$

Цей закон управління переводить зображуючу точку системи (10) в окіл многовиду $\psi = 0$ (10), рух вздовж котрого описується диференційним рівнянням

$$\dot{x}_\psi = x_\psi \left[\alpha - \left(\beta + \zeta \frac{\mu}{\omega} \right) x_\psi \right]. \quad (13)$$

Рівняння (13) за своїм змістом є логістичним [25, С.18] і визначає бажаний керівництвом навчального процесу (викладачем) обсяг навчально-виробничої діяльності людини, що навчається, та самого керівництва

$$x_\psi = \frac{\alpha \cdot \omega}{\beta \cdot \omega + \zeta \cdot \mu}. \quad (14)$$

Цей обсяг фактично, і по-перш за все, залежить від організаційно-технічних заходів підсистеми управління навчальним процесом, які описуються в (10) показниками (коефіцієнтами) впливу μ та ω . Рівень здатності при цьому має бути

$$y_\psi = \frac{\alpha \cdot \mu}{\beta \cdot \omega + \zeta \cdot \mu}. \quad (15)$$

За вказаних умов математична модель (9) системи «діяльність / здатність» трансформується до вигляду

$$\left. \begin{aligned} \dot{x} &= \alpha \cdot x - \zeta \cdot x \cdot y - \beta \cdot x^2; \\ \dot{y} &= \frac{\mu}{\omega} \left[\left(\alpha + \frac{1}{T} \right) \cdot x - \zeta \cdot x \cdot y - \beta \cdot x^2 \right] - \frac{1}{T} y \end{aligned} \right\}. \quad (16)$$

Припустимо, що синергетичне управління системою «діяльність / здатність» реалізується при $\alpha = 0,02$, $\zeta = 0,5$, $\beta = 0,1$, $\eta = 0,015$, $\mu = \omega = 0,1$, $T \in [0,25; 4]$ і $x_\psi = y_\psi = 0,0334$.

Результат такого управління можна побачити на фазових портретах системи, які представлено на рисунку 3.

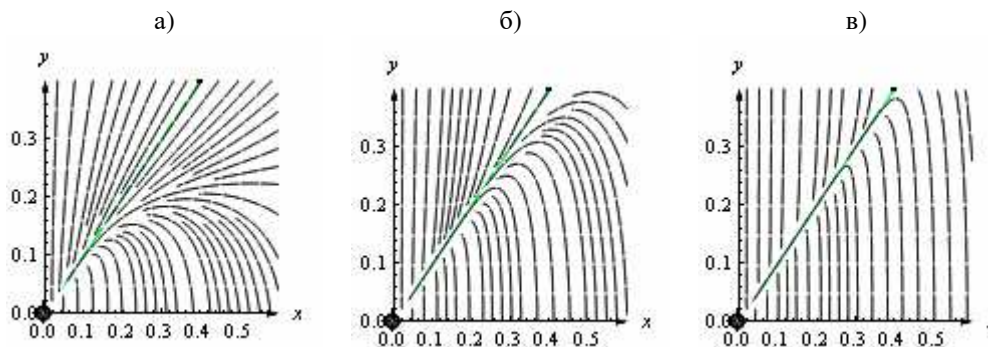


Рис. 3. Фазові портрети системи «діяльність/здатність» в умовах синергетичного управління
(авторська розробка),

$$\text{коли } \alpha = 0,02; \beta = 0,1; \eta = 0,015;$$

$$\zeta = 0,5; \mu = \omega = 0,1;$$

$$x_{\psi} = y_{\psi} = 0,0334 \text{ при наступних значеннях } T : \text{ а) } 4,0; \text{ б) } 1,0; \text{ в) } 0,25.$$

Топологія фазових траєкторій на цьому рисунку свідчить про самоорганізацію у досліджуваній системі (16) за згаданих умов. Видно, що фазові траєкторії «організовано» прямують до многовиду $\psi = 0$, на якому міститься точка відповідності обсягів діяльності з рівнем професійної здатності людини, що навчається, координати якої легко визначаються за допомогою розрахунків по формулам (14) і (15). В цій самоорганізації і виявляється синергетичний ефект від пропонованого управління. Із будь-якого стану система «діяльність / здатність» неодмінно прийде на многовид $\psi = 0$, по якому «зкотиться» до точки відповідності. Вказаний многовид є многовидом тяжіння, на якому реалізується процес редукції (зменшення) надлишкових ступенів вільності початкової системи «діяльність / здатність», що є основним завданням синергетичного управління складними системами будь-якого походження [29, С.74].

З наведених на рисунку 3 фазових портретів стає зрозумілим, що самоорганізація в системі «навчально-виробнича діяльність / професійна здатність» більш виражена при відносно малих проміжках часу T , які «відпускаються» управлінням системі на досягнення запланованого результату у вигляді кінцевої точки відповідності.

Вплив перерозподілу організаційно-технічних зусиль, націлених одночасно на обидві сторони, які взаємодіють (допомагають одна одній) в процесі навчання, можна побачити на рисунку 4.

Аналіз фазових портретів, приведених на цьому рисунку, свідчить про те, що максимальна ефективність набуття професійних здатностей досягається при фокусуванні організаційно-технічних зусиль підсистеми управління процесом навчання перш за все на ефективному виконанні навчально-виробничої діяльності особою, що навчається (цьому відповідають фазові портрети на рис. 4,а і рис. 4,б). Але при цьому певна частина організаційно-технічних зусиль повинна присвячуватися і ефективному здобуттю професійного досвіду. Задоволення вказаних умов можливе, наприклад, якщо в навчальному процесі використовуються всі досягнення креативної педагогіки, яку доцільно розглядати як сукупність органічно пов'язаних методів, форм, прийомів та засобів, що створює умови навчально-дослідницької діяльності учнів-дослідників та виховання їх, як креативних особистостей, професійно орієнтованих на діяльність у певній галузі. Обов'язково профільне навчання тут розглядається не просто як навчальна, а цілеспрямована навчально-дослідницька діяльність у загальній навчальній діяльності, що сприяє формуванню креативної особистості [28, С. 34].

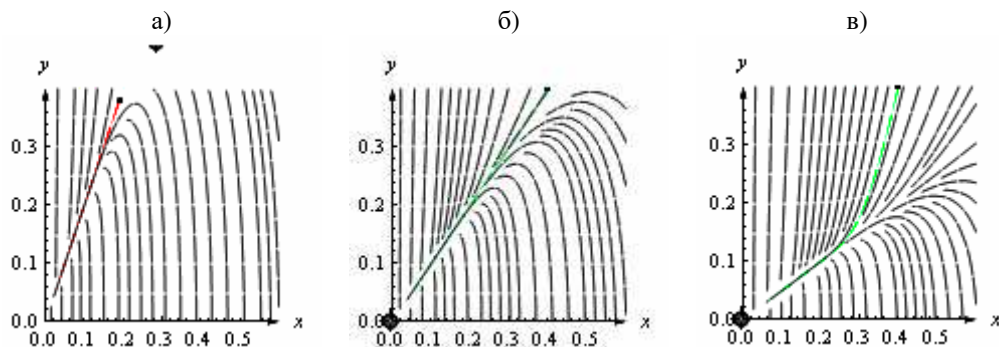


Рис. 4. Фазові портрети системи «діяльність/здатність» в умовах синергетичного управління
(авторська розробка),

коли $\alpha = 0,02$; $\beta = 0,1$; $\eta = 0,015$; $\zeta = 0,5$; $T = 1,0$, при різних μ і ω :

а) $\mu = 0,2$, $\omega = 0,1$, $x_{\psi} = 0,0182$, $y_{\psi} = 0,0364$;

б) $\mu = \omega = 0,1$; $x_{\psi} = y_{\psi} = 0,0334$;

в) $\mu = 0,1$, $\omega = 0,2$, $x_{\psi} = 0,0571$, $y_{\psi} = 0,0286$.

Достатньо примітивне пояснення встановлення можливої відповідності між теоретико-практичною діяльністю людини, що здобуває освіту, і професійною здатністю до такої діяльності дано на рисунку 5.

У випадку не злагоджених дій учасників традиційного навчального процесу очікуваної відповідності між діяльністю та здатністю може й не статися (рис. 5,а). Але очікуваний результат обов'язково з'явиться (рис. 5,б), якщо дії всіх учасників навчального процесу будуть керованими (заснованими на принципах креативної педагогіки). Аналогія, що вкладена в рис. 5, дуже груба, але добре зрозуміла: (1) дві не пов'язані між собою кулі, рухаючись в одному напрямку, можуть впасти на певній відстані одна від одної і не влучити в задану ціль; (2) якщо кулі жорстко зв'язані між собою, створюючи своєрідну гантель, то вони обов'язково і практично разом досягнуть мети.

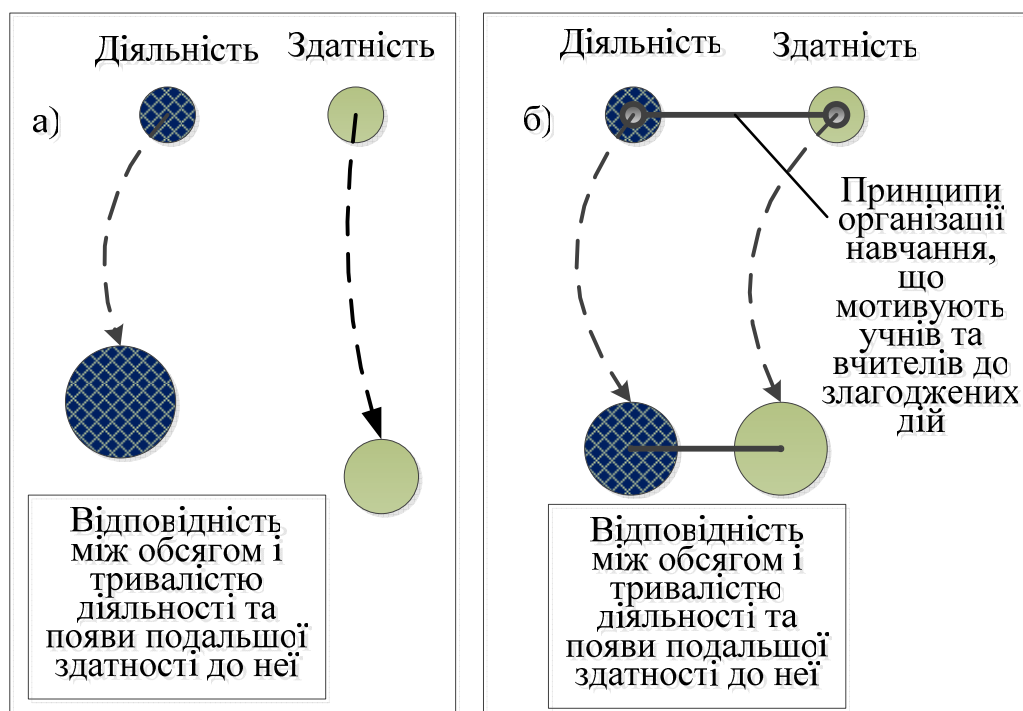


Рис. 5. Пояснення змістовної суті синергетичного управління навчальним процесом
(авторська розробка)

Такий перебіг подій цілком можливий, тому що і серед «учнів», і серед «вчителів» може бути достатньо мотивованих інноваторів з розкутим мисленням та фантазією. На підтримку цієї тези доцільно згадати, що взагалі поміж людей десь 4-5% є підприємцями (інноваторами) «від бога», а 40-45% людей із загальної кількості можна віднести до так званих «індукованих» підприємців (інноваторів), у яких можна виховати здатність брати ризику на себе [30, С. 107].

Висновки і перспективи подальших досліджень. У роботі вперше запропоновано феноменологічну модель «навчально-виробнича діяльність / професійна здатність» у вигляді системи нелінійних

диференціальних рівнянь, з подальшим її аналізом з позицій загальної теорії синергетичного управління складними системами. В результаті доведено, що за рахунок такого управління, передумовою якого є застосування технологій креативної педагогіки, в системі «навчально-виробнича діяльність / професійна здатність» можлива самоорганізація. Це дуже важливий результат як для теорії, так і для практики управління навчальним процесом, формування його потенціалу. В подальшому необхідно відпрацювати засоби трансформації введених формалізованих показників у конкретні за змістом та формою організаційно-технічні заходи з управління навчальним процесом.

Література.

1. Schulz T. Investment in Human Capital. *The American Economic Review*. March, 1961 №1. P.48.
2. Becker G.S. Investment in Human Capital: A. Theoretical Analysis. *Journal of Political Economy*. Supplement. Oct., 1962. P.13 – 44.
3. Пічкурова З.В. Інвестиції в людський капітал як визначальний чинник забезпечення конкурентоспроможності національної економіки. *Формування ринкових відносин в Україні*. 2014. № 6. С. 229 – 233. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/frvu_2014_6_50. (дата звернення: 03.02.2022)
4. Бусарєва Т.Г. Знаннєва компонента конкурентоспроможності суб'єктів економічних структур. *Економіка та держава*. 2021. № 6. С. 63 – 67. URL: http://www.economy.in.ua/pdf/6_2021/12.pdf (дата звернення: 03.02.2022)
5. Рубинштейн А.Я., Славинская О.А., Бураков Н.А. К вопросу финансирования опекаемых благ в сфере культуры, образования и науки. *Вестник ИЭ РАН*. 2019. № 3. С. 9 – 31. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/k-voprosu-finansirovaniya-opekaemyh-blag-v-sfere-kultury-obrazovaniya-i-nauki/viewer> (дата звернення: 03.02.2022)
6. Кожем'якіна С.М. Інвестиції в сферу вищої освіти України: необхідність структурних змін. *Ефективна економіка*. 2016. № 7. URL: <http://www.economy.nayka.com.ua/?op=1&z=5064> (дата звернення: 03.02.2022)
7. Красноручий О. О. Інвестування в сферу вищої освіти в системі формування кадрового потенціалу економічного розвитку суб'єктів аграрної сфери. *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка*. Харків, 2017. Вип. 182: Економічні науки. С. 3 – 12. URL: <http://dspace.khntusg.com.ua/bitstream/123456789/870/1/3.pdf> (дата звернення: 03.02.2022)
8. Гринберг Р.С., Рубинштейн А.Я. Проблемы общей теории социальной экономики. *Экономическая наука современной России*. 1998. № 2. С. 34 –56. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/problemy-obschey-teorii-sotsialnoy-ekonomii> (дата звернення: 03.02.2022)
9. Рубинштейн А.Я. Экономика общественных предпочтений. Структура и эволюция социального интереса. СПб.: Алтейя, 2008. 560 с.
10. Видатки зведеного бюджету на освіту за 5 років зросли удвічі. [Назва з екрану комп'ютера]. URL: <https://www.auc.org.ua/novyna/vydatky-zvedenogo-byudzhetu-na-osvitu-za-5-rokiv-zrosly-udvichi> (дата звернення: 03.02.2022)
11. Baumol W.J., Bowen W.G. Performing Arts – the Economic Dilemma. New York: Twentieth Century Fund, 1966.
12. Абанкина И.В., Абанкина Т.В., Деркачев П.В. Исследование «болезни издержек» в российском высшем образовании. *Университетское управление: практика и анализ*. 2014. № 4-5. С.:52 – 65. URL: https://www.umj.ru/jour/article/view/404?locale=ru_RU (дата звернення: 03.02.2022)
13. Зязюн І.А. Синергетичні параметри педагогіки як детермінанти креативного навчання. *Креативна педагогіка*. 2012. № 5. С. 7 – 13. URL: https://lib.iitta.gov.ua/3100/1/%D0%B7%D1%8F%D0%B7%D1%8E%D0%BD_6.pdf (дата звернення: 03.02.2022)
14. Горев П.М. Технология креативного занятия: от теории к практике. *Научно-методический электронный журнал «Концепт»*. 2018. № V8. URL: <http://e-koncept.ru/2018/186079.htm>. (дата звернення: 03.02.2022)
15. Закон України «Про освіту». Відомості Верховної Ради (ВВР), 2017, № 38-39, ст.. 380. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2145-19#Text>
16. Сластенин В.А., Исаев И.Ф., Шиянов Е.Н. Педагогика: учебник. 12-е изд., стер. М.: ИЦ «Академия», 2014. 608 с.
17. Носуленко В.Н, Терехин В.А. Передача знаний: обзор основных моделей и технологий. *Экспериментальная психология*. 2017. Т. 10. №. 4. С. 96—115. URL: https://psyjournals.ru/files/90822/exppsy_2017_n4_Nosulenko_Terekhin.pdf (дата звернення: 03.02.2022)
18. Зиновкина М.М., Мирошник Е.В., Утёмов В.В. Развитие системологического мышления в психолого-педагогической технологии НФТМ-ТРИЗ. *Научно-методический электронный журнал «Концепт»*. 2015. № 05 (май). ART 15167. URL: <http://e-koncept.ru/2015/15167.htm> (дата звернення: 03.02.2022)
19. Утёмов В. В. Использование инструментов ТРИЗ в обучении школьников математике. *Научно-методический электронный журнал «Концепт»*. 2011 (1 квартал). ART 11101. URL: <http://e-koncept.ru/2011/11101.htm>. (дата звернення: 03.02.2022)
20. Саламатов Д.Ю. Основы инновационного мышления: презентационный материал. Институт инновационного проектирования. Красноярск. 2009. 96 с. URL: <http://rus.triz-guide.com/assets/files/DY.pdf> (дата звернення: 03.02.2022)

21. Утёмов В. В. Развитие инновационного мышления учащихся посредством решения задач открытого типа. *Научно-методический электронный журнал «Концепт»*. 2012. № 12 (декабрь). ART 12186. URL: <http://www.copenok.ru/koncept/2012/12186.htm>. (дата звернення: 03.02.2022)
22. Нонака И., Такеучи Х. Компания – создатель знания. Зарождение и развитие инноваций в японских фирмах / пер. с англ. М.: ЗАО «Олимп-Бизнес», 2011. 384 с.
23. Каньковский І.С. Структура та зміст компетенцій інженера-педагога. *Проблеми інженерно-педагогічної освіти*. 2013. № 40-41. С. 59-68. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Pipo_2013_40-41_11 (дата звернення: 03.02.2022)
24. Базыкин А.Д. Математическая биофизика взаимодействующих популяций. М.: Наука, 1985. 182 с.
25. Баутин Н.Н., Е.А. Леонтович Е.А. Методы и приёмы качественного исследования динамических систем на плоскости.- 2-е изд., доп. М.: Наука, 1990. 488 с.
26. Серіков А.В., Зубова О.О. Маркетинг як необхідна умова синергетичного управління господарською діяльністю. *Актуальні проблеми економіки*, 2010, № 5 (107), С. 276-283.
27. Эрроусмит Д., Плейс К. Обыкновенные дифференциальные уравнения. Качественная теория с приложениями. / пер. с англ. М.: Мир, 1986. 243 с.
28. Сологуб А.І. Особливості креативного підходу у профільному навчанні обдарованих учнів. *Освіта та розвиток обдарованої особистості*. 2013. № 7(14). С. 34-36. URL: <https://lib.iitta.gov.ua/10308/Сологуб.pdf> (дата звернення: 03.02.2022)
29. Колесников А.А. Синергетические методы управления сложными системами: Теория системного синтеза. М.: КомКнига, 2006. 240 с.
30. Серіков А.В., Коваль І.М. Економіка та управління у сучасному українському репертуарному театрі: монографія. Харків: ФОП Панов А.М., 2018. 314 с.

References.

1. Schulz T. (1961). Investment in Human Capital. *The American Economic Review*. March. #1. P.48.
2. Becker G.S. (1962). Investment in Human Capital: A Theoretical Analysis. *Journal of Political Economy*. Supplement. Oct. P.13 – 44.
3. Pichkurova Z.V. (2014). “Investment in human capital as a determining factor in ensuring the competitiveness of the national economy”. *Formuvannya rynkovykh vidnosyn v Ukraini*. # 6. S. 229 – 233. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/frvu_2014_6_50. (Accessed 03 February 2022).
4. Busaryeva T.G. (2021). “Knowledge component of the competitiveness of economic entities”. *Ekonomika ta derzhava*. # 6. S. 63 – 67. URL: http://www.economy.in.ua/pdf/6_2021/12.pdf (Accessed 03 February 2022).
5. Rubinshtejn A.Ya., Slavinskaya O.A., Burakov N.A. (2019). “On the issue of financing patronized benefits in the field of culture, education and science”. *Vestnik IE RAN.* # 3. S. 9 – 31. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/k-voprosu-finansirovaniya-opekaemyh-blag-v-sfere-kultury-obrazovaniya-i-nauki/viewer> (Accessed 03 February 2022).
6. Kozhem'yakina S.M. (2016). “Investments in higher education in Ukraine: the need for structural change”. *Efektivna ekonomika*. # 7. URL: <http://www.economy.nayka.com.ua/?op=1&z=5064> (Accessed 03 February 2022).
7. Krasnorucz'kyj O. O. (2017). “Investing in the field of higher education in the system of formation of human resources for economic development of agricultural entities”. *Visnyk Xarkiv's'kogo nacional'nogo texnichnogo universytetu sil's'kogo gospodarstva imeni Petra Vasylenka*. Kharkiv, *Ekonomichni nauky*. # 182. S. 3 –12. URL: <http://dspace.khntusg.com.ua/bitstream/123456789/870/1/3.pdf> (Accessed 03 February 2022).
8. Grinberg R.S., Rubinshtejn A.Ya. (1998). “Problems of the general theory of social economy”. *Ekonomicheskaya nauka sovremennoj Rossii*. # 2. S. 34 –56. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/problemy-obschey-teorii-sotsialnoy-ekonomii> (Accessed 03 February 2022).
9. Rubinshtejn A.Ya. (2008). *Ekonomika obshestvennyh preferencij. Struktura i evolyuciya socialnogo interesa.* [Economics of public preferences. Structure and evolution of social interest.] Altejsya. 560 s. St. Petersburg, Russia.
10. Vydatky zvedenogo byudzhetu na osvitu za 5 rokiv zrosly` udvichi [Expenditures of the consolidated budget for education have doubled in 5 years.]. URL: <https://www.auc.org.ua/novyna/vydatky-zvedenogo-byudzhetu-na-osvitu-za-5-rokiv-zrosly-udvichi> (Accessed 03 February 2022).
11. Baumol W.J., Bowen W.G. (1966). *Performing Arts – the Economic Dilemma*. New York: Twentieth Century Fund.
12. Abankina I.V., Abankina T.V., Derkachev P.V. (2014). “Study of the “cost disease” in Russian higher education”. *Universitetskoe upravlenie: praktika i analiz*. # 4-5. S. 52 – 65. URL: https://www.umj.ru/jour/article/view/404?locale=ru_RU (Accessed 03 February 2022).
13. Zyazyun I.A. (2012). “Synergetic parameters of pedagogy as determinants of creative learning”. *Kreatyvna pedagogika*. # 5. S. 7 – 13. URL: https://lib.iitta.gov.ua/3100/1/%D0%B7%D1%8F%D0%B7%D1%8E%D0%BD_6.pdf (Accessed 03 February 2022).
14. Gorev P.M. (2018). “Technology of creative activity: from theory to practice”. *Nauchno-metodicheskij elektronnyj zhurnal «Koncept»*. # V8. URL: <http://e-koncept.ru/2018/186079.htm>. (Accessed 03 February 2022).
15. The Verkhovna Rada of Ukraine (2017), “About education”, available at: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2145-19#Text> (Accessed 03 February 2022).
16. Slastenin V.A., Isaev I.F., Shiyarov E.N. (2014). *Pedagogika: uchebnik*. 12-e izd., ster. [Pedagogy: textbook. 12th ed., ster.] IC «Akademiya». 608 s. Moscow, Russia

17. Nosulenko V.N, Terehin V.A. (2017). "Knowledge transfer: an overview of the main models and technologies". *Ekspierimentalnaya psihologiya*. V. 10. # 4. S. 96—115. URL: https://psyjournals.ru/files/90822/exppsy_2017_n4_Nosulenko_Terekhin.pdf (Accessed 03 February 2022).
18. Zinovkina M.M., Miroshnik E.V., Utyomov V.V. (2015). "The development of systemological thinking in the psychological and pedagogical technology of SFTM-TRIZ". *Nauchno-metodicheskij elektronnyj zhurnal «Koncept»*. # 05 (maj). ART 15167. URL: <http://e-koncept.ru/2015/15167.htm> (Accessed 03 February 2022).
19. Utyomov V. V. (2011). "Using TRIZ tools in teaching mathematics to schoolchildren". *Nauchno-metodicheskij elektronnyj zhurnal «Koncept»*. (1 kvartal). ART 11101. URL: <http://e-koncept.ru/2011/11101.htm> (Accessed 03 February 2022).
20. Salamatov D.Yu. (2009). Osnovy innovacionnogo myshleniya: prezentacionnyj material. [Fundamentals of innovative thinking: presentation material]. Institut innovacionnogo proektirovaniya. Krasnoyarsk. 96 s. URL: <http://rus.triz-guide.com/assets/files/DY.pdf> (Accessed 03 February 2022).
21. Utyomov V. V. (2012). "Development of innovative thinking of students through solving problems of an open type". *Nauchno-metodicheskij elektronnyj zhurnal «Koncept»*. # 12 (dekabr). ART 12186. URL: <http://www.covenok.ru/koncept/2012/12186.htm>.
22. Nonaka I., Takeuchi H. (2011). Kompaniya – sozdatel znaniya. Zarozhdenie i razvitie innovacij v yaponskih firmah / per. s angl. [The company is the creator of knowledge. The origin and development of innovations in Japanese firms / transl. from English]. ZAO «Olimp-Biznes». 384 s. Moscow, Russia
23. Kan`kova I.Ye. (2013). "Structure and content of competencies of an engineer-teacher". *Problemy inzhenerno-pedagogichnoyi osvity*. # 40-41. S. 59-68. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Pipo_2013_40-41_11 (Accessed 03 February 2022).
24. Bazykin A.D. (1985) Matematicheskaya biofizika vzaimodejstvuyushih populyacij. [Mathematical biophysics of interacting populations]. Nauka. 182 s. Moscow, Russia
25. Bautin N.N., E.A. Leontovich E.A. (1990). Metody i priyomy kachestvennogo issledovaniya dinamicheskikh sistem na ploskosti.- 2-e izd., dop. [Methods and techniques for a qualitative study of dynamical systems on a plane. - 2nd ed., add.] Nauka, 488 s. Moscow, Russia
26. Sierikov A.V., Zubova O.O. (2010). "Marketing as a necessary condition for synergetic management of economic activity". *Aktual`ni problemy ekonomiky*, # 5 (107), S. 276-283.
27. Errousmi D., Plejs K. Obyknoennyye differentsialnyye uravneniya. Kachestvennaya teoriya s prilozheniyami. / per. s angl. [Ordinary differential equations. Qualitative theory with applications. / per. With English]. M.: Mir, 1986. 243 s.
28. Sologub A.I. (2013). "Features of the creative approach in the profile education of gifted students". *Osvita ta rozvy`tok obdarovanoi osoby`stosti*. # 7(14). S. 34-36. URL: <https://lib.iitta.gov.ua/10308/Colory6.pdf> (Accessed 03 February 2022).
29. Kolesnikov A.A. (2006). Sinergeticheskie metody upravleniya slozhnymi sistemami: Teoriya sistemnogo sinteza. [Synergistic Methods for Controlling Complex Systems: Theory of System Synthesis]. KomKniga. 240 s. Moscow, Russia
30. Sierikov A.V., Koval` I.M.(2018). Ekonomika ta upravlinnya u suchasnomu ukrayins`komu repertuarnomu teatri: monografiya. [Economics and management in modern Ukrainian repertoire theater: monograph]. FOP Panov A.M. 314 s. Kharkiv, Ukraine.

Стаття надійшла до редакції 04.02.2022 р.