

А.В. Шевчук

Інститут регіональних досліджень НАН України, Львів

МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ І КОМП'ЮТЕРНІ СИМУЛЯЦІЇ ЯК ІНСТРУМЕНТИ ПОШУКУ ІННОВАЦІЙНИХ ШЛЯХІВ РОЗВИТКУ ВИЩОЇ ШКОЛИ



Зроблено критичний огляд математичних моделей і комп'ютерних симуляцій як інструментів пошуку інноваційних шляхів розвитку вищої школи. Показано, що сьогодні найбільше значення мають комп'ютерні симуляції, які вже використовують для практичних цілей з метою визначення для національних освітянських систем оптимального студентського контингенту, штатів університетів, кількості аудиторій тощо залежно від демографічної ситуації і фінансових можливостей в тій чи іншій країні. Автономні освітянські системи розглянуто як дисипативні структури, при цьому показано що їх існування, яке відірвано від виробництва, суперечить законам фізики і природі цих структур. Для виправлення ситуації запропоновано підпорядкування вищої школи хоча б у частині життєво необхідних спеціальностей відповідним промисловим дисипативним структурам.

Ключові слова: вища школа, симуляційні моделі, дисипативні структури.

Низька ефективність вищої освіти в царині впливу її на економічний розвиток тої чи іншої країни змушує дослідників звертатись до пошуку докорінних причин цього явища. З одного боку, згідно з теорією людського капіталу зазвичай передбачається, що більше 2/3 доходів від одержання конкретною людиною освіти одержує суспільство і менше 1/3 він сам, що протягом професійного життя спеціаліста витрати на його освіту окупуються в середньому в 5-ти, а іноді в 10-кратному розмірі [1]. З іншого боку, американськими дослідженнями було встановлено, що найбільший прибуток фірмам приносить розвиток середніх шкіл (100 %) і професійне навчання безпосередньо на фірмах (30–50 %), найменший – надання знань з теоретичної підготовки у вищих закладах. Згідно з їх ствердженнями в 60–70-і роки ХХ ст. норми віддачі у вищу освіту США збе-

рігали стабільність і знаходилися приблизно на рівні 10–15 %. З середини 1970-х років відбулося їх зниження до 5–8 %, яке продовжувалося до кінця 1980-х років. З кінця 1980-х років і до початку ХХІ ст. норми віддачі підвищувалися і мали показник 8–15 % [2].

Причини такої невідповідності теорії і практики полягають у недосконалому учбових процесів, недоступності вищих учбових закладів вищої акредитації для багатьох потенціальних абітурієнтів, недостатньому впровадженні сучасних ІТ-технологій в технологію навчання тощо. Ці проблеми намагаються вирішити різними засобами, в тому числі дослідженнями за допомогою математичних методів і комп'ютерних симуляцій. Ми вважаємо, що критичний огляд цих методів та обговорення одержаних результатів є актуальною задачею.

Сучасний етап розвитку освітньої системи характеризується намаганнями надати тотальну вищу освіту всім без виключення бажано-

чим. Незважаючи на попередження, що коефіцієнт корисної дії в цьому випадку буде вкрай низьким, деякі експерти вважають, що потрібен перехід до загальної вищої освіти шляхом дистанційного навчання. Це за будь-яких умов дасть більший ефект, ніж при використанні традиційних підходів, і в абсолютних цифрах людство буде мати вигоду [3]. Однак, на наш погляд, така «узагальнизація» нічого крім втрати грошей і часу студенту не принесе, оскільки кількість робочих місць обмежена. Втім, за даними Департаменту освіти США, який займається навчанням студентів в режимі *он-лайн* (The 2010 U.S. Department of Education's «Review of Online Learning Studies»), студенти, які навчаються дистанційно, засвоюють матеріали легше і виконують завдання краще, ніж традиційні студенти [4]. Пояснити цей феномен можна кількома причинами: 1) американські студенти, яким властива висока мобільність, знають, що в цій країні фахівець завжди може знайти роботу за спеціальністю; 2) диплом інженера є тільки першим щаблем на шляху професійної кар'єри – в подальшому кваліфікацію і перехід в когорту професійних інженерів (P.Eng) потрібно підтверджувати низкою іспитів на державному рівні, підготовка до яких триває декілька років; 3) виконувати завдання може стороння людина.

Другим шляхом всеохоплення вищою освітою є намагання наблизити вищі навчальні заклади (*виші*) до потенційних абітурієнтів. У цьому контексті зауважимо, що на момент розпаду СРСР в Україні працювало 143 вищих навчальних заклади і 742 технікуми та училища, в яких навчались у цілому 1,6 млн. студентів; у 2010 році кількість вишів становила вже 349 (за нашими підрахунками – більше 800, тобто більше, ніж сумарно в країнах ЄС), при цьому кількість студентів збільшилась з 881 тис. до 2139 тис. Експерти в один голос стверджують, що збільшення числа приватних вузів вкрай негативно позначається на якості вищої освіти [5].

У цьому плані характерною є робота [6], в якій побудовано модель професійної освіти на

прикладі даних по республіці Башкортостан (Росія). Автор роботи Л. Ісмагілова вважає, що «об'єкти освітніх послуг у сфері професійної підготовки кадрів можуть істотно впливати на зміну економічної ситуації в регіоні, оскільки орієнтованість освітньої установи на потреби народного господарства забезпечує економічне зростання за рахунок підвищення рівня кваліфікації кадрів. З іншого боку, промисловість забезпечує економічне зростання регіону, створює робочі місця і формує попит на освітні послуги. Вважається, що у довгостроковій перспективі результат такої взаємодії приведе до поліпшення соціального і, можливо, демографічного середовища. При цьому буде спостерігатись ефект «позитивного зворотного зв'язку». Проте, на нашу думку, наявність такого зв'язку потрібно спочатку довести, оскільки Л. Ісмагілова вважає, що освітні заклади дають студентам високу теоретичну і практичну підготовку, яка негайно стане у нагоді підприємствам реальної економіки. Втім вона ж стверджує, що «розміщення освітніх установ, продиктоване значною мірою попитом населення, не сприяє розвитку економіки регіону, створює «псевдозайнятість», оскільки лише 34 % осіб, що здобули вищу професійну освіту, працюють за фахом».

Незважаючи на це протиріччя, автор [6] зробила спробу вирішити задачу територіального розміщення освітянських об'єктів методом імітаційного комп'ютерного моделювання з використанням геоінформаційної системи, яке забезпечує послідовне поліпшення декількох несуперечливих критеріїв шляхом поетапного перебирання, як це запропоновано автором [7]. У роботі використано три критерії:

1) функція потреби населення у вищій освіті, яка залежить від платоспроможності населення (тобто доступності вищої освіти), чисельності осіб, що бажають одержати вищу освіту і зональних особливостей (загалом цей критерій відображає тільки інтереси вищого закладу, оскільки орієнтований на платоспроможний попит населення);

2) концентрація освітянського закладу з метою підвищення якості навчального процесу, який також залежить від чисельності студентів і зональних особливостей (шукається як максимум);

3) доцільне розташування об'єктів в зонах із значною потребою в освіті з найбільшою концентрацією контингенту (шукається як мінімум відстані від центральної точки до зональних точок, що задовольняють першим двом критеріям).

Відтак модель Л. Ісмагілової відображає лише інтереси комерційних вишів, що обмежуються необхідною концентрацією контингенту і близькістю розташування освітянських об'єктів до місць проживання абітурієнтів і студентів до цих об'єктів. Про інтереси промисловості і про якість освіти не йдеться.

Сьогодні вищі учбові заклади є реальними учасниками економічних ринкових відносин і повноцінними суб'єктами ринку та беруть участь у конкурентній боротьбі. Для вирішення проблеми оцінки конкурентоспроможності вузів Є. Калашніковою [8] були виділені основні чинники, на підставі яких можна повести якісну і кількісну оцінку:

- 1) якість освітніх послуг;
- 2) ціна освітніх послуг;
- 3) частка ринку;
- 4) реклама та інформаційне обслуговування.

Для оцінки кожного чинника конкурентоспроможності вищого учбового закладу Є. Калашніковою була розроблена спеціальна оціночна шкала, а потім були застосовані математичні методи і розроблена математична модель оцінки конкурентоспроможності вищих учбових закладів. На жаль, у роботі шкалу і модель не представлено і нема посилання на джерело інформації для знайомства з ними.

Проте для оцінки конкурентоспроможності можна застосовувати відому конкурентну модель Лоткі—Вольтерра, за допомогою якої та апроксимуючого тренду минулого розвитку можна оцінити коефіцієнти взаємовпливу α і β і тим самим оцінити конкурентоспроможність

агентів [9]. Модель не вимагає застосування спеціальних оціночних шкал і набору критеріїв — уся інформація знаходиться в апроксимуючому тренді в неявному вигляді. Якщо в перегонах беруть участь більше ніж 2 вузи, то застосовують спеціальні математичні методи вирішення звичайних диференціальних рівнянь, однак легше використати спеціальні комп'ютерні конкурентні мультиагентні моделі, які вже мають успіх на ринку комп'ютерних послуг [10].

Починаючи з 1980-х років в офісах ЮНЕСКО при стратегічному плануванні розвитку освіти в тій чи іншій країні почали застосовувати комп'ютерне моделювання. У 2001 р. ЮНЕСКО спроектувала системну комп'ютерну модель EPSSim (Education Policy and Strategy Simulation model), яка враховує різний рівень фінансових обмежень в конкретному національному регіоні. Спочатку було розроблено демонстраційну модель «Освіта для всіх» (Education for All, EFA), а сьогодні для кожної країни є адаптовані варіанти [11], які стали обов'язковими інструментами у розвитку учбових секторів розвинених країн через сценарне симуляційне моделювання.

Необхідність застосування саме симуляційних комп'ютерних моделей пов'язана з необхідністю участі в процесі багатьох учасників, змінних і взаємовідносин, які неможливо врахувати простими математичними рівняннями-моделями. Згідно з EPSSim використовують такі категорії «освітянських входів»: *персонал, освітянські засоби* (аудиторії і будівлі), *учбово-методичні матеріали і обладнання*. EPSSim враховує усі ці категорії і на виході дає рекомендації щодо необхідності приведення їх до норми.

Розрізняють два типи моделей EPSSim: 1) загальна і специфічна моделі для даної країни, відповідно до «Ready-to-use» і «Tailormade»; 2) бюджетна і демографічна моделі, в яких використовують національні бюджети і національні демографічні дані.

Використання EPSSim дає можливість проводити симуляцію за декількома сценаріями розвитку. Спочатку її використовують як ін-

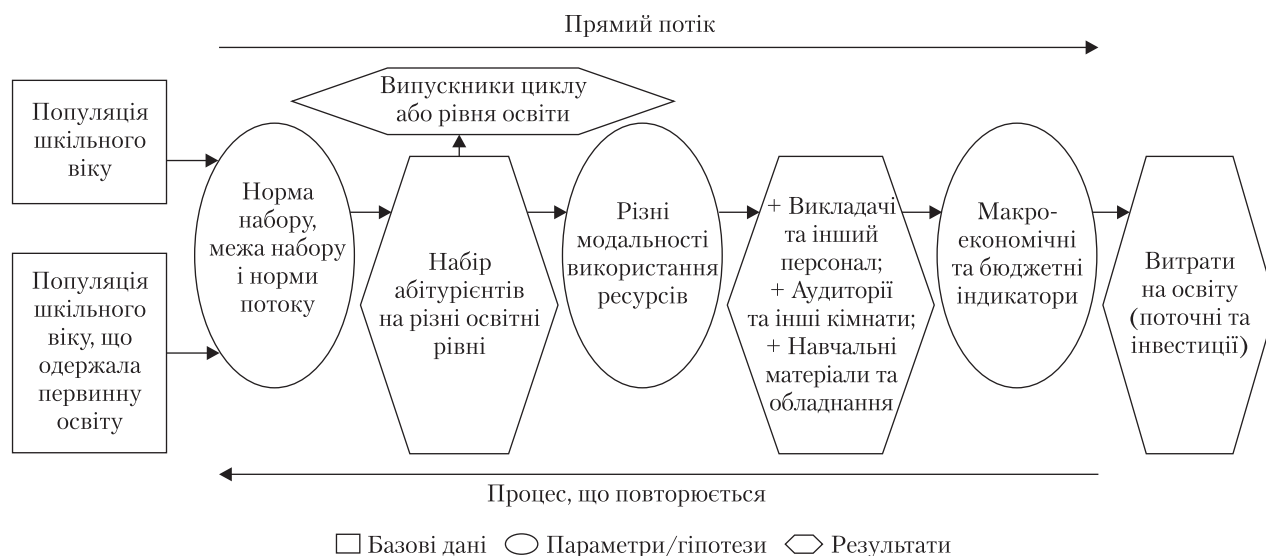


Рис. 1. Спрощена схема потоків «демографічної» симуляційної моделі EPSSim [11]

струмент проектування, потім як інструмент розвідки (дослідження) і остаточно як інструмент прогнозування. На рис. 1 показано функціональну схему EPSSim.

Незважаючи на певну досконалість моделі EPSSim як комп'ютерного продукту, що вже практично використовується для утилітарних цілей, потрібно констатувати, що вона, як і всі комп'ютерні і математичні моделі, враховує лише демографічні показники, можливості вузів і фінансові можливості тієї чи іншої країни, однак не бере до уваги дійсну потребу промисловості в тих чи інших спеціалістах. Вважається, що пропозиція праці і попит на молодих спеціалістів є однаковими і рівновага встановлюється сама собою спонтанно.

Симуляційні моделі особливо важливі для країн, що розвиваються, таких, наприклад, як Уганда, в якій існує невідповідність між потребою у фахівцях, кількістю студентів, яка постійно збільшується і вже досягла приблизно 80 тис. осіб, і ресурсами для забезпечення якісної освіти. Спеціально для цієї країни було побудовано симуляційну модель [12], яка ґрунтувалася на простих математичних рівняннях, що враховували навантаження на викладачів,

кількість екзаменаційних білетів, витрати на зарплату викладачам і обслуговуючому персоналу, вартість засобів навчання тощо. Усі потоки було об'єднано в достатньо складну схему, для реалізації якої використано програмний засіб STELLA, що працює в парадигмі системної динаміки Дж. Форрестера.

В результаті досліджень було встановлено, що спочатку збільшення набору студентів приводить до підвищення якості навчання/освіти, однак подальше збільшення цю якість погіршує внаслідок вичерпання ресурсів. Отже, існує оптимум набору студентів, який і визначено за допомогою цієї моделі для цієї країни.

Досить цікаву теорію розвитку вищої освіти в узагальненому вигляді розроблено в Китаї. Модель побудовано на двох протилежних засадах: 1) кооперації (симбіозі) двох агентів, яких, як ми вважаємо, можна назвати *вищою освітою* і 2) споживачем продукту вищої освіти. З одного боку, вища освіта підтримує промисловість кваліфікованими працівниками, а одержаний приріст ВВП підтримує вищу освіту. З іншого боку, розвиток вищої освіти обмежується рівнем ВВП. При цьому цілком обґрунтованим є застосування біофізичної логістичної кривої

Ферхюльста, рівняння якої містить член, що визначає внутрішньовидову конкуренцію. Взаємодія агентів відбувається за правилами теорії ігор, а сама гра відбувається в середовищі мультиагентної моделі NetLogo Урі Віленського [13].

Симуляційне моделювання застосовують не тільки для досліджень абстрактних освітніх систем, а й для конкретних систем регіонального рівня з використанням конкретної бази даних. Так, зокрема, за допомогою 70-секторної моделі Policy Insight (кожний сектор відповідає окремому промисловому сектору регіону) досліджували вклад вищої освіти в економіку штату Оклахома [14]. За допомогою цієї моделі зроблено прогноз розвитку Оклахоми до 2048 р. і зроблено висновок, що 25 регіональних навчальних інститутів штату внесуть помітний внесок у зростання економічного потенціалу регіону. Однак автори моделі і модельного прогнозу справедливо зазначають, що зростання кількості робочих місць залежить не тільки від зусиль вищих учбових закладів. Відтак модель має швидше дорадчу цінність, а не реальний інструмент для прийняття рішень.

Концептуальними потрібно вважати структурні моделі, побудовані ще в 1995 р. в ІПМ ім. Келдиша РАН, що показують, як змінюватиметься загальна ефективність системи освіти при погіршенні фінансового положення за умов різної структурної політики [15]. При цьому виділялися три групи вишів:

- 1) університети, що забезпечують інноваційний потенціал;
- 2) інженерні вузи, орієнтовані на підтримку техносфери і соціальної структури;
- 3) педагогічні і медичні вузи, а також інші інститути, що готують фахівців масових професій.

Відомо, що найефективніше протистояти деградації можна, якщо за пріоритет взяти підтримку першої групи вишів. Ці результати потрібно розглядати як своєрідне обґрунтування концепції дослідницьких університетів. Відтак, згідно з моделлю, технологічний успіх мають

не країни з масовою вищою освітою, а країни, які мають елітарний сектор.

Багато з математичних моделей і комп'ютерних програм зосереджено на вирішенні внутрішніх проблем освітянських систем. Так, у роботі [16] для кількісного аналізу динаміки вікової структури викладачів вищої школи використовувалася математична модель, яку запропоновано в рамках вирішення загальної задачі прогнозу розвитку ситуації в освіті. Модель ґрунтується на рівняннях розвитку популяції біологічних систем дискретного відображення, що само по собі є нетривіальним. У цій моделі вікової структури викладачів вищої школи розглядалися три категорії викладачів вузів, при цьому зростання середнього віку представників категорії, що розташовувалися в такому порядку — *аспіранти; молоді викладачі; доценти і професори*. Вважається, що професійна кар'єра працівника вищої школи починається в 25 років, а потім у нього за певних умов з'являється можливість переходу з групи, в якій він знаходиться, в наступну. Достатньо нескладна модель з математичного погляду давала результати, що добре узгоджується з такими, що спостерігаються у сучасній вищій школі Росії. Технічно моделювання виконувалося за допомогою одновимірного клітинного автомата.

Зазначимо, що на базі цієї моделі розроблено і модель динаміки вікового складу професійної групи, що враховує особливості соціальної ситуації в середніх школах Росії. За її допомогою отримано прогноз розвитку ситуації для декількох варіантів сценаріїв зміни соціально-економічного положення вчителів. Підкреслимо, що в роботі [16] зазначався «один важливий момент, що знаходиться поза рамками математичної моделі, яка застосовувалася, але очевидний: для успішного вирішення кадрової проблеми необхідне кардинальне поліпшення системи підготовки молодих фахівців у вищих і середніх спеціальних педагогічних учбових закладах». Очевидно, це стосується і вищої школи.

Однією з найважливіших кількісних характеристик системи вищої освіти є кількість студентів на певному році навчання. Динаміку цієї характеристики вивчали за допомогою «методу когорт», який використовують при математичному описі демографічних процесів.

У рамках побудови моделі розглядалася чисельність студентів, що навчалися за одною спеціальністю, або одного напрямку в межах одного вишу. Багатомірне рекурентне відображення має вигляд:

$$M_{i+1}(t+1) = M_i(t) - \alpha_i M_i(t) - \beta_i M_i(t) + \beta_{i+1} M_{i+1}(t) + (1 + \zeta) N_{i+1}, \quad (1)$$

де $M_i(t)$ – кількість студентів на курсі i в t -му році; α_i – частка студентів, що відраховані з i -го курсу; β_i – частка студентів, що втратили рік на i -му курсі; N_i – середня кількість студентів, що перевелись з інших вишів на i -й курс; ζ – випадкова величина з математичним очікуванням, що дорівнює 0, яка описує процес переведення з інших вишів.

Якщо задавати різні початкові значення $M_1(t)$, що залежать від рівня оплати контрактного навчання, привабливості спеціальності, конкуренції інших вишів за абітурієнтів, то можна побудувати прогноз зміни чисельності тієї чи іншої когорти по роках навчання і передбачити кількість випускників, які успішно закінчують вищий навчальний заклад за даною спеціальністю. На жаль, рівняння (1) не враховує корупційної складової, яка сильно впливає на кінцевий результат. Така модель не розроблялась і на практиці не перевірялась.

Для суттєвого підвищення ефективності навчання потрібно знаходити резерви, які сьогодні не використовуються. Тому була побудована математична модель, що враховує основні риси процесу засвоєння точних наук, такі, як можливість виведення нових елементів курсу з попередніх різними способами тощо. Модель показала появу в процесі навчання «стрибка розуміння», якому можуть перешкоджати різні фактори, зокрема недостатній показ різних способів одержання того самого результату, за-

надто довгий ланцюжок доказів, який потрібно розбивати на окремі частини тощо.

Дослідник з Томського державного університету Л. Трифонова вважає [18], що «в освітньому процесі вчитель має справу з індивідуальностями, які мають різні схильності, інтереси, здібності до навчання. Традиційна ж класно-урочна система не може забезпечити повноцінного розвитку кожного учня» (очевидно, це стосується і вищої школи). Отже, в навчальних групах виникає розподіл учнів (студентів) на тих, хто засвоїв матеріал, і тих, хто не засвоїв. Для вияву розподілу учнів за даною характеристикою Л. Трифонова використала імовірнісний розподіл за Фоккером–Планком–Колмогоровим. Після перетворень одержано просту ітераційну математичну модель

$$x_{n+1} = a_1 - (a_2 - 1)x_n - a_4 x_n^3, \quad (2)$$

де x – частка тих, хто засвоїв навчальний матеріал; a_1, a_2, a_4 – керуючі параметри.

Л. Трифонова зазначає, що наведене рівняння «описує результати, що отримуються в різних ситуаціях, які виникають при проведенні письмових опитів наприкінці уроку за тільки що пройденим матеріалом. Запропонована модель враховує дію закону переходу кількісних накопичень в якісні зміни, що досить виразно проявляється. Результати вивчення розподілу учнів залежно від матеріалу, що засвоюється на уроці, перш за все дають інформацію про недостатність диференціації навчання шляхом створення спецкласів і про необхідність в будь-якому разі введення відомих спеціальних методик (так званій *внутрішній диференціації*)» [18].

Зазначимо, що модель Л. Трифонові потрібно віднести до групи моделей парадигми складності, однак, незважаючи на успіхи побудови подібних математичних моделей, головним інструментом в сучасних дослідженнях дидактики все таки є комп'ютерні симуляції.

Складність керування навчальними закладами і низьку ефективність цього керування пояснюють такими основними чинниками:

- ✦ вертикальною децентралізацією влади, яка викликана передачею владних повноважень на рівень середньої ланки керування, а також традиційною автономією професорсько-викладацького складу;
- ✦ сильною горизонтальною спеціалізацією на рівні факультетів (інститутів) і кафедр, яка може привести до переважання приватних цілей і інтересів над загальноуніверситетськими; отже, вимога ректорату щодо самостійності кафедр і факультетів може привести до колапсу університету в цілому;
- ✦ якщо університет є взагалі комерційною структурою, то факультети і кафедри повинні бути залучені до нової підприємницької культури, однак у своїй діяльності вони починають реалізовувати не тільки академічні, але й підприємницькі інтереси.

Російський дослідник *І. Фофанов* вважає, що лише інтегрована підприємницька культура, яка в значній мірі об'єднує вищий навчальний заклад в цілому, дозволяє частково гармонізувати його інтереси в цілому і відношення окремих підрозділів між собою. Однак яким чином досягнути цієї гармонії, залишається невідомим [19].

У цьому контексті ми вважаємо доцільним навести деякі відомості з теорії *team production* («виробництво в команді») [20]. *По-перше*, існує багато видів виробництва, де необхідна кооперація декількох чоловік і при цьому вклад кожного в загальний продукт неможливо точно виміряти (існує так звана трудність виміру — *metering problem*). *По-друге*, при подібному виробництві у окремого члена колективу появляється можливість і стимул-реакція для ухиляння — це слово стало терміном (англ. *shirking* — «сачкування»). Якщо заробітна плата кожного учасника визначається як частка від ділення загального продукту Q на число працівників N , то окремий працівник значно виграє від ухиляння і не має жодної стимул-реакції працювати більше, ніж потрібно. *По-третє*, єдиний спосіб зробити цю систему ефективною — це поставити над цією «командою»

спостерігача. Причому цей спостерігач не має бути найманим робітником, інакше які гарантії, що він не ухилиться так само? Хто спостерігатиме за спостерігачем? Ефективний спостерігач має бути власником фірми і мати право на весь залишковий дохід, який утворюється в результаті діяльності робітників. Звідси і робиться висновок про інституціональне походження фірми як способу зробити командне виробництво можливим.

Вважають, що реалізація завдань підвищення ефективності розвитку вищих навчальних закладів може бути забезпечена автоматизацією навчального процесу і документообігу, що дозволяє організувати грамотний менеджмент на всіх рівнях організаційної структури вишу. Автор [19] *І. Фофанов* підрахував, що для створення автоматизованої системи йому потрібен 1 млн. дол. США і 30 місяців роботи 9-и програмістів екстра-класу. Однак, згідно з теорією динамічного хаосу, яка ґрунтується на неньютонівській парадигмі складності [21], створення таких автоматизованих систем з можливістю регуляції і передбачення розвитку вищих навчальних закладів як комерційних структур є в принципі неможливим. Оскільки АСУ *Фофанова* не передбачає використання елементів *team production*, які також в принципі не можна формалізувати і запрограмувати, то цю гіпотетичну систему потрібно розглядати як утопічну.

Незважаючи на численні спроби реформування системи вищої освіти в Україні, помітного позитивного ефекту від цих перетворень не спостерігається. Масовий випуск спеціалістів привів до того, що сьогодні випускники навчальних закладів не можуть влаштуватись на роботу в зв'язку з відсутністю пропозицій за фахом або невідповідністю придбаних навиків вимогам працедавців (певною мірою вина в цьому лягає на середню школу і на самих абітурієнтів-випускників школи). Водночас відчувається гостра нестача фахівців масових професій, неможливість забезпечити ринкову привабливість низки соціально-важливих сфер діяльності (наприклад, вчителювання на селі і

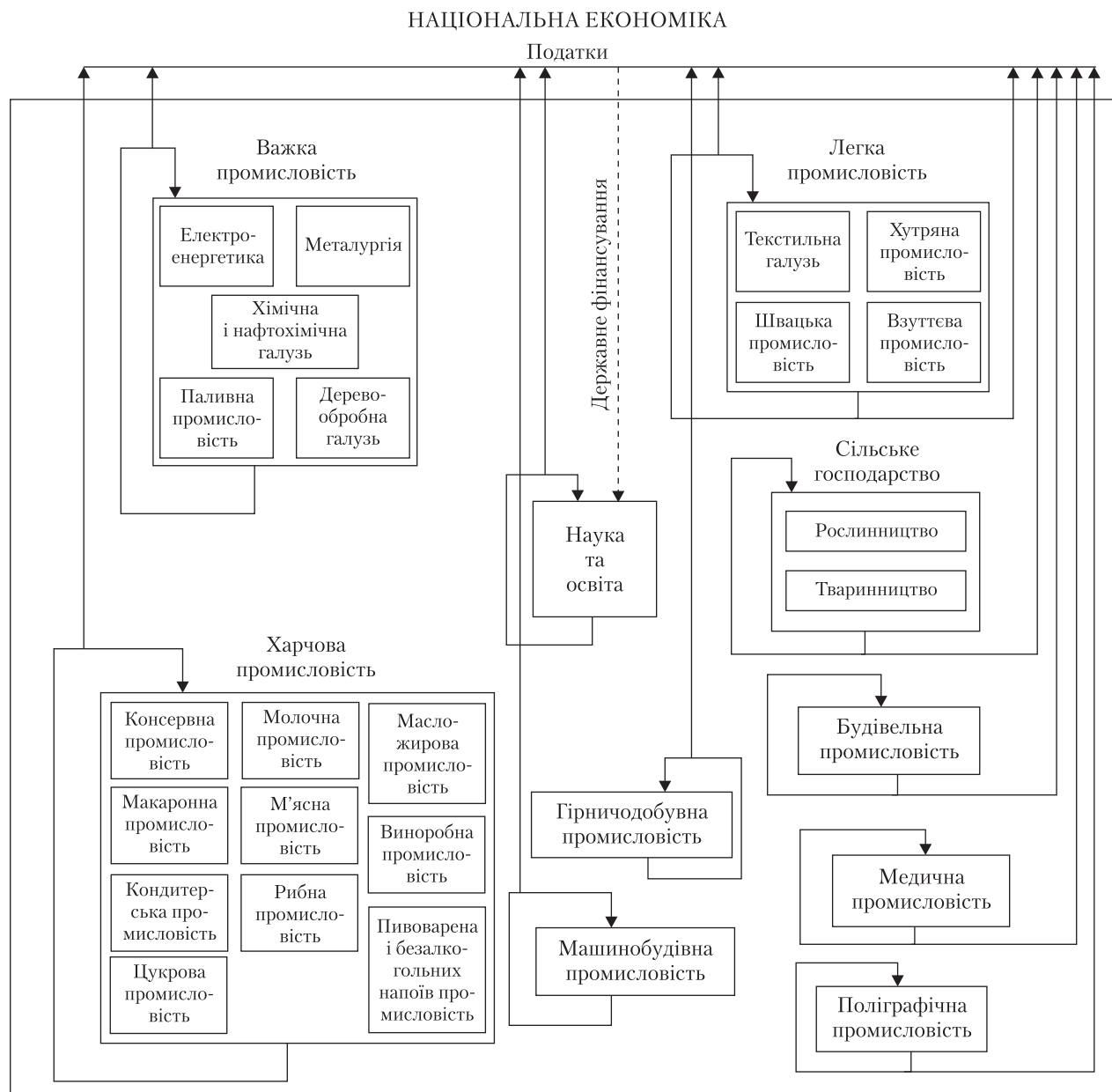


Рис. 2. Фрактальна структура національної економіки

взагалі робота у сільськогосподарській галузі). Подібні проблеми супроводжують економіку і систему вищої освіти в Росії, в якій складна ситуація на ринку праці привела ряд експертів в області економіки освіти до ідеї її реформування, підкріпленої рядом економічних механізмів [1].

Цілком очевидно, що від зазначених недоліків освітянських систем не можна позбутися запровадженням заходів, спрямованих на «поліпшення», «удосконалення» тощо, оскільки ці недоліки *органічно* притаманні системам, без яких вони не можуть існувати. Пояснити це можна тим, що освітянські системи є самостійними, ав-

тономними, дисипативними самоорганізаційними структурами зі своїми конституційними і кінетичними сферами, діяльність яких спрямована перш за все на самовиживання.

На рис. 2 показано спрощену схему національної економіки, яка складається з множини дисипативних структур (ДС) під назвами *промисловості*. Кожна ДС поділяється на *підпромисловості* (галузі), а галузі на окремі *промислові підприємства*. У свою чергу національна економіка є також ДС. Відтак вся схема в цілому є типовою фрактальною структурою.

Головними рисами самоорганізаційних ДС є відокремленість від навколишнього середовища певними границями, що і визначає їх автономність. Існування ДС можливе за рахунок надходження матеріальних (сировинних) і енергетичних потоків, перероблення їх з утворенням внутрішньої ентропії S_i . За умови викиду частини цієї ентропії S_e у довкілля з промисловими відходами і знеціненою енергією може статися так, що залишок цієї ентропії буде меншим ентропії, що надходить з сировиною. У такому випадку у ДС є шанс зберегти свою упорядкованість і навіть збільшити її. При цьому всі елементи всередині ДС повинні взаємодіяти злагоджено, кооперативно (симбіотично), інакше вона втратить автопоетичність — здатність до репродукції (розширення) або можливість самопідтримки.

Відтак діяльність дисипативної структури *промисловість* спрямована на позбавлення від надлишку ентропії за рахунок ефективного *товарного* виробництва. Товар продається на ринку, промисловість (галузь, підприємство) одержує за нього гроші (економічний еквівалент енергії), за які купуються сировина і фізичні енергетичні ресурси [21]. На рис. 2 цей процес умовно позначено петлями зворотних зв'язків.

Особливою ДС є структура під назвою «*Наука і освіта*». Частково матеріальні і енергетичні ресурси в неї надходять з державного бюджету. ДС «Наука» взагалі не може існувати без цієї підтримки, оскільки її товар (ідеї, результати досліджень, патенти, наукові статті,

монографії тощо) практично не знаходять свого покупця. З цього приводу дозволимо собі процитувати російську дослідницю Є. Князеву [23]: «Відкриття стає науковою, культурною або соціальною інновацією лише тоді, коли одержує певне визнання в науковому або культурному суспільстві. Зовсім не всі відкриття будуть інноваціями. Багаточисельні відкриття є лише відкриттями для себе і «вмирають» разом з їх творцем або введення такої інновації в соціум, як правило, поєднано з труднощами. Інші відкриття мають обмежене коло трансляції і змінюють тільки локальне середовище для подальшої пошукової і конструктивної діяльності. І лише дуже невелика кількість відкриттів пробиваються на рівень загальної течії подій в економіці». Особливість ДС «Освіта» в усьому світі характеризується тим, що «сировиною» і «покупцем знань» є одна і та сама людина, що суперечить законам фізики і природі ДС. Оскільки комерційні студенти оплачують свої навчання, то ДС «Освіта» має петлю зворотного зв'язку (див. рис. 2). Однак чимала частка енергії-грошей для підтримки цієї ДС надходить з державного бюджету. В подальшому випускник намагається продати себе як товар і не знаходить попиту на свої послуги. Ця фаза вже не цікавить ДС «Освіта», оскільки засоби для свого існування випускник вишу вже отримав.

Оскільки «студент-покупець знань» не може оцінити «товар», який йому пропонує вищий навчальний заклад, то якість цього «товару-знань» цілком визначає продавець і відповідне міністерство освіти, тому і якість освіти відступає на другий план, а головним вектором зусиль ДС «Освіта» для свого виживання є залучення до своєї структури якомога більше абітурієнтів на платній основі. Внаслідок такого перекошення проявляються спотворення:

- ✦ різке зниження навантаження інженерних дисциплін на користь суспільних (напр., у НУ «Львівська політехніка» час на вивчення інженерії в 4 рази менший, ніж у МВТУ ім. Баумана 1970—1980 рр. [2]);

- ✦ перехід на Болонську дворівневу систему навчання призвів до того, що магістерські кваліфікаційні роботи нагадують науково-теоретичні роботи, які не мають нічого спільного з виробництвом, при чому в майбутньому планується перехід на виключно бакалаврсько-магістерську систему;
- ✦ згортання інституту виробничих практик, оскільки на організацію практик кошти не виділяються, університети повинні самостійно домовлятися з підприємствами (відтак керівники підприємств розглядають приймання студентів на практику як благодійні акції);
- ✦ кваліфікація викладача підтверджується виключно наявністю вченого ступеню і вченого звання; виробничий досвід є необов'язковим;
- ✦ комерційні студенти, що не встигають, практично не виключаються з вищого навчального закладу, оскільки є джерелом його прибутку;
- ✦ необхідність у кількості спеціалістів того чи іншого профілю Міністерства освіти визначає по появі безробітних за даними центрів зайнятості.

Ці органічні недоліки можуть бути ліквідовані, якщо змінити статус освіти як самостійної і автономної ДС, тобто зробити її елементом ДС «Промисловість». Інакше кажучи, навчання за життєво необхідними спеціальностями потрібно вивільнити з підпорядкування Міністерства освіти у відповідні Міністерства промисловості. У такому випадку елемент освіти примусово буде кооперуватися з іншими елементами ДС «Промисловість» і буде лише допоміжним елементом. Це абсолютно природне явище, подібне до того, як, припустимо, цех миття тари не може мати самостійний статус на лакофарбовому заводі. ДС «Промисловість» сама буде визначати навчальну програму свого навчального підрозділу, необхідну кількість потрібних спеціалістів, якість викладацького складу, необхідне фінансування. Повну чи часткову компенсацію витрат галузі промисловості можуть одержувати від Міністерства освіти за фактом. Світовий досвід підготовки спеціалістів саме в такий спосіб відомий.

Наприклад, свої учбові центри для первинного навчання і навчання протягом усієї професійної кар'єри мають корпорації Intel, Hudson Baylor Corporation, Exelon Corporation, Microsoft, Cisco тощо.

Запропонований погляд вирішує проблеми регіональної вищої освіти, про які автори [1] зазначають: «існує гостра проблема, що стосується регіональної освітянської політики... Практично відсутні комп'ютерні моделі регіональної економіки, ... відсутні моделі і концепції регіональної освітянської політики. В той же час значення цієї політики важко переоцінити, оскільки диференціація на рівні розвитку регіонів Росії перейшла небезпечну межу». Розвиток регіональної освіти у запропонованій парадигмі природним чином буде відповідати цілям регіональної економіки. Якщо, припустимо, в деякому сільськогосподарському районі на приватних засадах відкриється спеціальність «технологія ядерної зброї» або «біотехнологія фармацевтичних препаратів», ніхто не буде заперечувати і забороняти навчатися за цими спеціальностями, однак ті, хто навчатимуться, повинні знати, що в майбутньому в цьому районі вони приречені на безробіття, а ті, що навчатимуть цим спеціальностям, повинні знати, що вони не знайдуть підтримки у своїх роботодавців і повинні покладатися тільки на свій дар переконання. Зрозуміло, що подібний утилітарний підхід до вищої освіти може привести країну до технологічного занепаду, однак для навчання перспективним спеціальностям мусять існувати центральні елітарні вищі учбові заклади, як це показують дослідження, які будуть випускати, так би мовити, «штучний товар».

Недосконалість освітянських систем змушує дослідників усього світу застосовувати математичні моделі і комп'ютерні симуляції як інструменти пошуку інноваційних шляхів розвитку вищої школи. Все більшого поширення при цьому набувають комп'ютерні симуляції, які враховують непередбачуваний розвиток подій і які неможливо врахувати простими ма-

тематичними рівняннями. Комп'ютерні симуляції використовують не тільки для теоретичних досліджень, але й для допомоги національним освітянським системам з метою оптимального визначення кількості контингенту студентів, викладацького і допоміжного штату університетів, кількості аудиторій тощо залежно від демографічної ситуації в конкретній країні і її фінансових можливостей (модель EPSSim ЮНЕСКО). Водночас усі світові моделі передбачають автономність і самостійність освітянських систем, які потрібно розглядати як дисипативні структури зі своєю логікою розвитку у відриві від дійсних потреб промисловості. Якість освіти при цьому відступає на другий план. Ми вважаємо, що ліквідація цих недоліків можлива за умови підпорядкування освітянських систем відповідним промисловим дисипативним структурам. У світі є приклади роботи саме за такою організаційною структурою — учбові центри при потужних корпораціях.

ЛІТЕРАТУРА

1. *Ахромеева Т.С., Капустин М.А., Кащенко С.А. и др.* Новые направления системного анализа и компьютерного моделирования образовательной стратегии и политики России // Препринт ИПМ № 89, Москва, 2001.
2. *Новіков В.П., Сидоров Ю.І., Швед О.В.* Сучасний стан і проблеми викладання біотехнологій в політехнічних університетах України // Нові технології навчання: Наук.-метод. Зб. / Інститут інноваційних технологій і змісту освіти МОН України. — К., 2009. — Вип. 56. — С. 25–33.
3. *Рефлективные процессы и управление* // III международный симпозиум 8–10 октября 2001 г., Москва / Тезисы / Под ред. А.В. Брушлинского и В.Е. Лепского. — М.: Институт психологии РАН, 2001. — 242 с.
4. *Bush J., Hunt J.* New Higher Education Model. October 6, 2011 — www.insidehighered.com/views/2011/10/06/bush_hunt_essay.
5. *Як змінилася освіта в Україні за 20 років незалежності* / Освіта.UA. — osvita.ua/home/aktual/22193/.
6. *Исмаилова Л.А.* Модель территориального размещения объектов сферы услуг // Вестник УГАТУ. — 2009. — Т. 12, № 3 (32). — С. 134–140.
7. *Кобелев Н.Б.* Основы имитационного моделирования сложных экономических систем. — М.: Дело, 2003. — 336 с.
8. *Калашикова Е.А.* Оценка конкурентоспособности вузов // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. — 2010. — № 4. — С. 130–132. — www.publikacia.net/arhiv/042010.pdf.
9. *Козик В.В., Сидоров Ю.І., Скворцов І.Б., Тарасовська О.Б.* Застосування моделі Лоткі—Вольтерра для опису дуополю-дуопсонієвої конкуренції // Актуальні проблеми економіки. — 2010. — № 2(104). — С. 252–260.
10. *Andersen E.S., Valente M.* Model Exploration and Extension in the Laboratory for Simulation Development. Chapter 1: Introduction to Artificial Evolutionary Processes // Danish Research Unit for Industrial Dynamics (DRUID) Artificial Economic Evolution. Draft. — 2002. — <http://www.business.aau.dk/evolution/esapers-pers/esa02/andval1.pdf>.
11. *Chang G.-C.* Application of Computer Simulation in Education Development Planning / ED/EP/2006/PI/12 October 2006 — unesdoc.unesco.org/images/0015/001501/150192e.pdf.
12. *Taremwa D.* Simulation Model for Resource Optimization in Higher Education Institutions (September, 2009). — dspace.mak.ac.ug/bitstream/123456789/504/3/taremwa...
13. *NetLogo Home Page* — The Center for Connected Learning and ... — ccl.northwestern.edu/netlogo.
14. *The Economic Impact of The Higher Education System Of the State of Oklahoma.* — www.okhighered.org/econ-dev/econ-impact-remi-9-08.pdf.
15. *Капица С.П., Курдюмов С.П., Малинецкий Г.Г.* Синергетика и прогнозы будущего / Сер. «Кибернетика: неограниченные возможности и возможные ограничения». — М.: Наука, 1997. — 285 с.
16. *Малинецкий Г.Г., Равлюк С.Г., Степанцов М.Е.* Математическое моделирование и прогнозирование динамики возрастной структуры учителей средних школ России // Препринт Института прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН, 2005, № 90. — www.keldysh.ru/papers/2005/rep90/rep2005_90.html.
17. *Степанцов М.Е.* Математическая модель направленного движения группы людей // Математическое моделирование. — 2004. — Т. 16, № 3. — С. 43–49.
18. *Трифопова Л.Б.* Моделирование учебного процесса на основе динамики статистических распределений. — aeli.altai.ru/.../2001/trifova_shapovalova.html.
19. *Фофанов И.С.* Отечественная практика управления вузами. Разработка автоматизированной системы управления // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. Москва: 2010. — № 4. — С. 165–167. — www.publikacia.net/arhiv/042010.pdf.
20. *Alchian A., Demsetz H.* Production, Information Costs, and Economic Organization // American Economic Review. — 1972. — V. 62. — P. 777–795.
21. *Пригожин И., Стенгерс И.* Порядок из хаоса: Новый диалог человека с природой (Ilya Prigogine, Isabelle

Stengers. ORDER OUT OF CHAOS: Man's new dialogue with nature) / пер. с англ под общ. ред. В.И. Аршинова, Ю.Л. Климонтовича и Ю.В. Сачкова. — М.: Прогресс, 1986. — 471 с.

22. Козик В.В., Сидоров Ю.І. Поняття ентропії в економічних системах / Проблеми науки. 2011. — № 7. — С. 10—13.
23. Князева Е.Н. Вращивать социальные инновации — значит управлять креативно. — <http://spkurdyumov.narod.ru/Knyazeva36.htm>.

А.В. Шевчук

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ
И КОМПЬЮТЕРНЫЕ СИМУЛЯЦИИ
КАК ИНСТРУМЕНТЫ ПОИСКА
ИННОВАЦИОННЫХ ПУТЕЙ РАЗВИТИЯ
ВЫСШЕЙ ШКОЛЫ

Сделан критический обзор математических моделей и компьютерных симуляций как инструментов поиска инновационных путей развития высшей школы. Показано, что сегодня наибольшее значение имеют компьютерные симуляции, которые уже используют на практике с целью определения для национальных образовательных систем оптимального студенческого контингента, штатов университетов, количества аудиторий и т. п. в зависимости от демографической ситуации и финансовых возможностей в той или другой стране. Автономные образовательные системы рассмотрены как диссипативные структуры, при этом показано, что их существование, которое оторвано от производства, противоречит законам физики и природе этих структур. Для исправления ситуации

предложено переподчинение высшей школы хотя бы в части жизненно необходимых специальностей соответствующим промышленным диссипативным структурам.

Ключевые слова: высшая школа, симуляционная модель, диссипативная структура.

A.V. Shevchuk

MATHEMATICAL MODELS AND COMPUTER
SIMULATIONS AS INSTRUMENTS FOR SEARCH
OF INNOVATIVE WAYS OF HIGHER EDUCATION
DEVELOPMENT

The critical review of mathematical models and computer simulations as instruments for search of innovative ways of higher school development is done. It is shown that today computer simulations, which are already used in practice to determine optimum of student contingent, university staff, amount of audiences etc. in the national educational systems depending on a demographic situation and financial possibilities of one or another country, are the most important. The autonomous educational systems are considered as dissipative structures, while it is shown that their existence, which is alienated from production, contradicts to the laws of physics and the nature of these structures. To correct the situation reassignment of higher school, at least in terms of vitally necessary specialties relevant to industrial dissipative structures, is proposed.

Key words: higher school, simulation model, dissipative structure.

Стаття надійшла до редакції 23.01.12